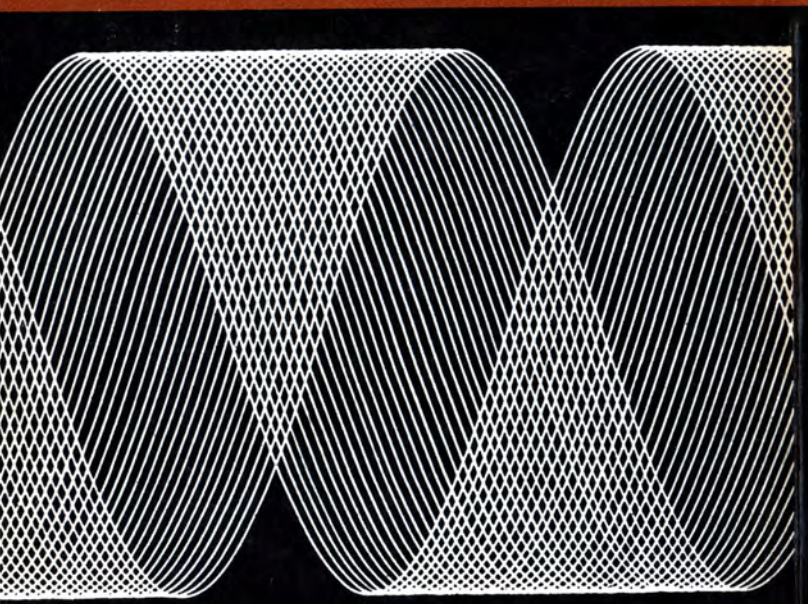
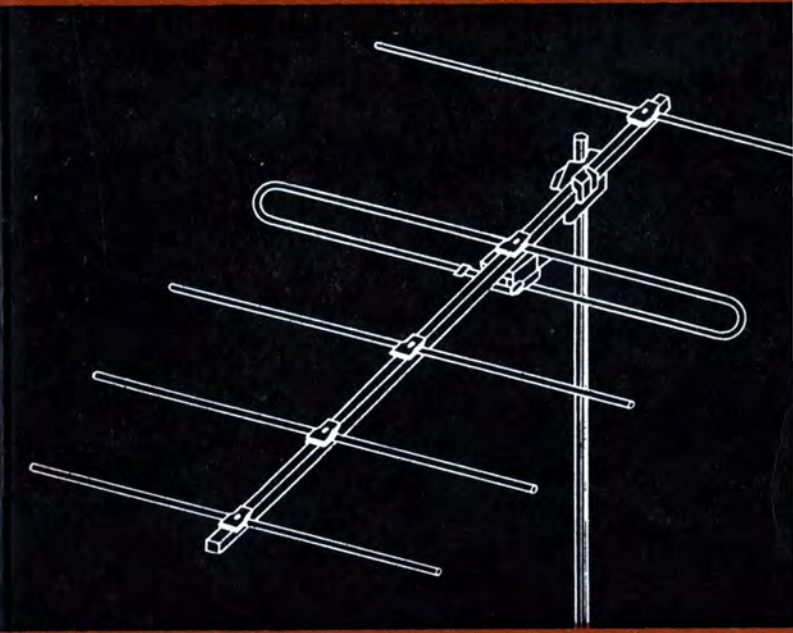
amateurreihe

electronica





Karl
Rothammel

169

Praxis der Fernsehantennen Teil 2

LEER

scan by Blackburner 2013

electronica · Band 169

KARL ROTHAMMEL

DM 2 ABK

Praxis der Fernsehantennen Teil II

MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN
REPUBLIK

6., bearbeitete Auflage, 1979, 76.—95. Tausend
© Militärverlag
der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) — Berlin, 1966
Cheflektorat Militärliteratur
Lizenz-Nr. 5
LSV: 3539
Lektor: Dipl.-Phys. Hans-Joachim Mönig
Zeichnungen: Wilhelm Kaufmann
Typografie: Helmut Herrmann · Hersteller: Michael Haase
Vorauskorrektor: Ingeborg Kern · Korrektor: Dietlinde Woitschig
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
Redaktionsschluß: 20. August 1978
Bestellnummer: 746 106 6
DDR 1,90 M

Inhaltsverzeichnis

der Broschüre Teil II
(Abschnitte 1. bis 3. s. Teil I)

4.	**Anpassen von Fernsehantennen**	**5**
4.1.	Anpassungs- und Symmetrierglieder	9
4.1.1.	Umwegleitung (Balun-Transformator)	9
4.1.2.	Aufgewickelte Zweidrahtleitungen als Symmetrie- und Impedanzwandler	11
4.2.	Viertelwellentransformator	14
5.	**Aufbauplatz und Ausrichten von Fernsehantennen**	17
5.1.	Zur Wahl des Standorts	17
5.2.	Aufbauhöhe	18
5.3.	Seitenrichtung	19
5.3.1.	Bildstörungen durch Reflexionen	20
5.3.1.1.	Entstehen eines Geisterbilds	20
5.3.1.2.	Ausblenden von Reflexionen	25
5.4.	Schwenken der Antenne	32
6.	**Fremde Störer**	34
6.1.	Gleichkanalstörungen	34
6.2.	Örtlich bedingte Störungen	36
6.2.1.	Störungen durch Oszillatoroberwellen	36
6.2.2.	Störungen durch Funkenbildung	37
7.	**Eingangsspannung**	39
7.1.	Zu geringe Eingangsspannung	39
7.1.1.	Antennenverstärker	40
7.2.	Zu große Eingangsspannung	45
7.2.1.	Frequenzunabhängige Dämpfungsglieder	46
7.2.1.1.	Symmetrische Dämpfungsglieder	46
7.2.1.2.	Unsymmetrische Dämpfungsglieder	48
7.2.2.	Frequenzabhängige Dämpfungsglieder	51
7.3.	Mehrere Antennen an einer gemeinsamen Antennenableitung	54
7.3.1.	Tiefpaß	57
7.3.2.	Hochpaß	58
7.3.3.	Bandpaß	59

7.3.4. Bandsperre 62
7.3.5. Frequenzweichen 63
7.3.5.1. Selbstherstellung von Frequenzweichen 64
7.3.5.2. Frequenzweichen im Angebot des Fachhandels 66

8. Gemeinschaftsantennenanlagen 72
8.1. Mehrere Fernsehempfänger an einer Antennenanlage 73
8.1.1. Verstärkerlose Anlagen 73
8.1.2. Anlagen mit Antennenverstärker 79

9. Gesetzliche Vorschriften für den Aufbau von Empfangs-Antennenanlagen 85
9.1. Sonstige Anordnungen und Empfehlungen zur Betriebssicherheit 100

10. Anhang 102

4. Anpassen von Fernsehantennen

Eine Antennenanlage bezeichnet man als angepaßt, wenn der Wellenwiderstand Z der Speiseleitung gleich dem Fußpunktwiderstand Z_A der Antenne und dem Eingangswiderstand Z_E des Empfängers ist. In diesem Fall ist die Speiseleitung an beiden Enden mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen ($Z = Z_A = Z_E$), und es wird die maximal mögliche Leistung übertragen.
Weichen Z_A oder Z_E bzw. Z_A und Z_E von Z ab, so besteht Fehlanpassung, und es kann in keinem Fall die maximale Leistung übertragen werden. Je nach dem Grad der Fehlanpassung wird ein mehr oder weniger großer Teil der aufgenommenen Leistung wieder reflektiert; auf der Speiseleitung bilden sich wellenförmige Strom- und Spannungsmaxima — auch stehende Wellen genannt — aus. Als Maß für die Genauigkeit der Anpassung wurde ursprünglich der Begriff Stehwellenverhältnis (abgekürzt SWV) eingeführt. Man versteht darunter das Verhältnis zwischen der größten und der kleinsten Spannung oder Stromstärke, die auf der Speiseleitung auftritt. Im günstigsten Fall, also bei stehwellenfreier Leitung, ist dieses Verhältnis 1:1. Die Stromstärke oder Spannung hat dann an allen Punkten der Speiseleitung den gleichen Wert. Der Begriff *Stehwellenverhältnis* wurde als wörtliche Übersetzung aus der angelsächsischen Literatur übernommen. (*S*tanding *W*ave *R*atio = SWR). In neuerer Zeit hat sich in der DDR die Bezeichnung *Welligkeitsfaktor* oder kurz *Welligkeit* durchgesetzt. Sie ist der Quotient aus dem Maximalwert U_{max} und dem Minimalwert U_{min} der Spannung

$$s = \frac{U_{max}}{U_{min}}. \tag{4.1.}$$

Daraus ergibt sich, daß im Anpassungsfall die Welligkeit $s = 1$ ist, bei Fehlanpassung gilt $s > 1$.
Seltener definiert man auch den Grad der Fehlanpassung m als das Verhältnis von Minimalspannung zu Maximalspannung:

$$m = \frac{U_{min}}{U_{max}}. \tag{4.2.}$$

Im Anpassungsfall ist dabei $m = 1$, bei Fehlanpassung wird $m < 1$. Aus der Fehlanpassung m ergibt sich der Reflektionsfaktor

$$r = \frac{1 - m}{1 + m}. \tag{4.3.}$$

Er gibt das Amplitudenverhältnis der rücklaufenden zur vorlaufenden Welle an.

Für Empfangsantennenanlagen sind nach *TGL 7224* Welligkeitsfaktoren bis maximal $s = 2$ (entsprechend $m = 0{,}5$) zugelassen. Der Spannungsverlust durch Fehlanpassung kann in diesem Fall bis etwa 6% betragen. Die Anpassung industriell hergestellter Einkanalantennen liegt im allgemeinen wesentlich günstiger und wird in den Datenblättern der Hersteller angegeben.

Häufig besteht die Meinung, daß vorhandene Plastikerscheinungen[1]) oder Doppelkonturen im Fernsehbild durch eine Fehlanpassung der Antenne bzw. der Speiseleitung verursacht werden. Das ist theoretisch möglich; in den seltensten Fällen wird das jedoch die Ursache sein. Grundsätzlich kann eine *Echowirkung* nur sichtbar werden, wenn Antennenfußpunkt *und* Empfängereingang fehlangepaßt sind. Da man bei industriell hergestellten Fernsehempfängern den Eingangswiderstand mit 240 Ω bzw. 75 Ω als ausreichend genau annehmen kann und auch die handelsüblichen Speiseleitungen entsprechend diesen genormten Werten mit hoher Genauigkeit gefertigt sind, treten grobe Fehlanpassungen bei selbstgebauten Antennenanlagen praktisch nur noch am Antennenfußpunkt auf.

Lediglich im Fernsehband I kommen in der Praxis Doppelkonturen durch Fehlanpassung vor, besonders dann, wenn sehr lange und verlustarme Speiseleitungen verwendet werden. Meistens sind jedoch Plastikerscheinungen und Doppelkonturen auf Abgleichfehler im Zwischenfrequenzverstärker oder noch häufiger

[1] Hinsichtlich der auf dem Bildschirm sichtbar werdenden Reflexionen ist folgendes zu unterscheiden:
Geister — Außer dem direkt empfangenen Bild sind rechts neben diesem noch ein Bild oder mehrere in größerem Abstand zu sehen.
Doppelkonturen — Die Konturen des direkten Bildes werden im Abstand von einigen Millimetern noch einmal geschrieben.
Plastik — Das reflektierte Bild liegt so nahe am direkten Bild, daß Doppelkonturen nicht mehr in Erscheinung treten. Die Bildkonturen sind mehr oder weniger verwaschen und wirken deshalb plastisch.

auf Echowirkungen außerhalb der Antenne durch Mehrwegeempfang zurückzuführen. Diese Erscheinungen werden im folgenden Abschnitt erläutert.

Vorausgesetzt, daß ein UKW-Bandkabel als Speiseleitung verwendet wird, gibt es eine sehr einfache Möglichkeit, vorhandene Fehlanpassung sofort festzustellen. Man faßt die Bandleitung zwischen Daumen und Zeigefinger und fährt damit auf der Bandleitung über eine Strecke von etwa 1 m entlang. Bei einer fehlangepaßten Antennenanlage wird man dabei auf dem Bildschirm Schwächungen und Verbesserungen des Kontrasts beobachten können. Ist die Anpassung einwandfrei, so ändert sich am Fernsehbild nichts, gleichgültig, an welcher Stelle des Bandkabels sich die Hand befindet.

In Auswertung dieser Erscheinungen kann man eine behelfsmäßige Anpassung durch einen kapazitiven Schieber vornehmen. Wie aus Bild 4.1 ersichtlich, besteht er aus einem Blech- oder Metallfoliestreifen (z. B. Stanniolpapier), der so um die Bandleitung gelegt wird, daß sich seine Enden überlappen, sich aber nicht metallisch berühren. Die Breite des Streifens kann im Band I etwa 60 mm und im Band III etwa 30 mm betragen, sie ist nicht kritisch. Dieser kapazitive Schieber wird so lange auf der Bandleitung verschoben, bis das Fernsehbild am kontrastreichsten ist. An dieser Stelle klemmt man dann den Metallstreifen fest. Besser, aber umständlicher ist es, die Speiseleitung etwa 1 m länger als erforderlich zu bemessen und diese dann am empfängerseitigen Ende so lange Zentimeter um Zentimeter zu verkürzen, bis sich der beste Empfang einstellt.

Wirkungsvoll und mechanisch nicht schwer zu lösen ist der zusätzliche Anschluß eines kurzgeschlossenen Viertelwellenstücks am Empfängereingang (Bild 4.2). Zweckmäßig wird das Leitungsstück etwas länger als $\lambda/4$ gehalten und bleibt vorerst unten offen. Nun werden die beiden Kabelleiter mit der Schnittfläche einer Rasierklinge versuchsweise an verschiedenen Punkten kurzge-

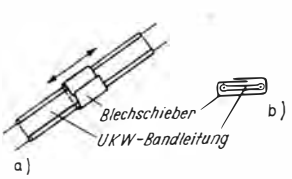


Bild 4.1
Behelfsmäßige Anpassung durch einen kapazitiven Schieber; a — Ansicht, b — Schnitt

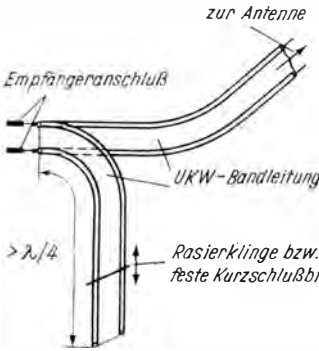


Bild 4.2
Behelfsmäßiger Anpassungsstub am Empfängereingang

schlossen, bis die Stelle des besten Empfangs gefunden ist. Dort wird dann eine feste Kurzschlußbrücke eingelötet.

Da Fehlanpassungen auch durch die Antennenumgebung verursacht werden (z. B. durch Annäherung an Gebäudeteile oder an andere Antennen), kann man durch die beschriebenen einfachen Anpassungsmaßnahmen häufig bestehende Antennenanlagen verbessern. Der Erfolg ist am Bildschirm leicht zu kontrollieren. Treten jedoch an einer älteren Antennenanlage sehr starke Fehlanpassungen bei verringertem Kontrast auf, so muß diese mechanisch überprüft werden. In vielen Fällen wird ein Leitungsbruch des Speisekabels vorliegen, der bevorzugt am Antennenanschluß auftritt.

Zeitweilige Anpassungsfehler entstehen bei Bandleitungen durch Witterungseinflüsse. Zum Beispiel hat ein regennasses oder mit Rauhreif behangenes Flachbandkabel einen merklich kleineren Wellenwiderstand und eine größere Dämpfung als ein Kabel in trockenem Zustand. Deshalb kommt es vor, daß manche Fernsehteilnehmer bei Regenwetter oder Nebel über ein schlechtes Bild klagen. Aber auch der umgekehrte Fall tritt ein. So wird oft bei Regen, Nebel oder Schnee der Fernsehempfang als besonders gut bezeichnet. Hier darf man annehmen, daß die Antennenanlage fehlangepaßt ist und die durch die Feuchtigkeit verursachte Wellenwiderstandsänderung der Bandleitung gerade ausreicht, die Fehlanpassung zu kompensieren. Vermutlich wird das Nutzsignal über Reflexionen empfangen, und bei nassem Wetter verbessert sich die Leitfähigkeit der reflektierenden Flächen.

Auch durch Windbewegung können bei mangelhaft installierten Antennenanlagen zeitweilige Anpassungsfehler auftreten, und zwar dann, wenn die Bandleitung nicht fest verlegt ist. Durch Annäherung an Gebäudeteile (z. B. Dachrinnen) verändert sich der Wellenwiderstand der Zweidrahtleitung; es besteht außerdem die Gefahr von Drahtbrüchen. Die geschilderten Erscheinungen spielen bei großen Nutzfeldstärken innerhalb des Versorgungsgebiets von Fernsehsendern kaum eine Rolle. In Gegenden, in denen mit großem Antennenaufwand gerade noch ein brauchbares Fernsehbild erzeugt werden kann, sind sie jedoch von Bedeutung.
Alle witterungsbedingten Einflüsse werden vermieden, wenn statt der üblichen UKW-Bandleitung ein Koaxialkabel verwendet wird. Dieses ist völlig unempfindlich gegen äußere Einflüsse und nahezu unbegrenzt haltbar.

4.1. Anpassungs- und Symmetrierglieder

Wünscht man eine Fernsehantenne mit einem Fußpunktwider stand von 240 Ω symmetrisch mit einem Koaxialkabel zu speisen- so muß aus Gründen der Anpassung der Antennenfußpunkt von, 240 Ω auf 60 Ω bzw. von 300 Ω auf 75 Ω transformiert werden. Da Koaxialkabel außerdem unsymmetrische Gebilde sind, ist eine Symmetriewandlung auf den erdsymmetrischen Eingang erforderlich. Für den Übergang von 240/300 Ω symmetrisch auf 60/75 Ω unsymmetrisch verwendet man mit Vorteil eine Halbwellen-Umwegleitung, die sich sehr gut für den Selbstbau eignet. Gleiche Eigenschaften haben industriell gefertigte aufgewickelte Zweidrahtleitungen (sogenannte Balun-Spulen), die als Symmetrie- und Impedanzwandler dienen. Ihre Durchgangsdämpfung ist allerdings etwas größer als die einer Umwegleitung.

4.1.1. Umwegleitung (Balun-Transformator)

Eine Umwegschleife, deren elektrische Länge $\lambda/2$ beträgt, wirkt als Symmetrierglied und transformiert gleichzeitig im Verhältnis 1:4 (Bild 4.3). Der Balun-Transformator und die Speiseleitung können aus dem gleichen Koaxialkabel bestehen.
Um die geometrische Länge der Umwegschleife zu erhalten, muß

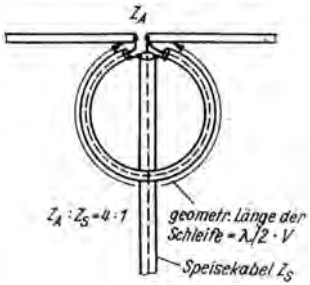


Bild 4.3
Halbwellen-Umwegleitung als symmetrierendes Transformationsglied

die Länge von $\lambda/2$ mit dem Verkürzungsfaktor V des verwendeten Koaxialkabels multipliziert werden. Für das bevorzugt benutzte Koaxialkabel *75-5-A* wird V mit 0,83 angegeben (s. Tabelle 3.3.).

Wie aus Bild 4.3 ersichtlich, wird der Außenleiter des Speisekabels mit dem Außenleiter der Umwegschleife verbunden. Eine metallische Verbindung zwischen den Außenleitern der beiden Kabel und dem Strahler besteht jedoch nicht. Die Verbindung der Innenleiter mit dem Strahler läßt sich ebenfalls aus Bild 4.3 ersehen. Die Blitzschutzvorschriften setzen voraus, daß die zusammengefaßten Kabelaußenleiter (Abschirmung) mit dem Erdungspunkt (Elementeträger) verbunden werden. Das Transformationsverhältnis der Halbwellen-Umwegleitung ist 1:4. Es kann also ein Koaxialkabel mit einem Wellenwiderstand Z_S von 60/75 Ω über eine Halbwellen-Umwegleitung erdsymmetrisch und impedanzrichtig an einen Antenneneingangswiderstand Z_A von 240/300 Ω angepaßt werden.

Die Dämpfung einer Umwegleitung ist vernachlässigbar gering. Bei relativ großer Bandbreite hat sie ausgezeichnete Anpassungs- und Symmetriereigenschaften.

In Tabelle 4.1. sind die geometrischen Längen von Balun-Transformatoren für alle Fernsehbänder aufgeführt, wobei die Verkürzungsfaktoren 0,66 und 0,83 berücksichtigt wurden.

Die für die Bänder III und IV/V zusätzlich angegebenen Kanalgruppenbemessungen lassen erkennen, daß Halbwellen-Umwegleitungen eine relativ große Frequenzbandbreite haben und somit auch bei Breitbandantennen eingesetzt werden können. Die Bandbreite einer Umwegleitung umfaßt im Band I 2 Kanäle, im

Tabelle 4.1. Geometrische Längen von Halbwellen-Umwegleitungen für die Fernsehbänder und den UKW-Rundfunkbereich

	Verkürzungsfaktor 0,66		Verkürzungsfaktor 0,83	
	Kanäle	Kanalgruppen	Kanäle	Kanalgruppen
Band I				
Kanal 2	2020		2465	
Kanal 3	1768		2165	
Kanal 4	1571		1930	
Band II				
87,5 ... 104 MHz	1037		1303	
Band III				
Kanal 5	562		701	
Kanal 6	541	532	675	664
Kanal 7	521		650	
Kanal 8	502		627	
Kanal 9	485		606	
Kanal 10	470	463	586	578
Kanal 11	454		567	
Kanal 12	440		550	
Band IV/V				
Kanal 21 bis 25	201		254	
Kanal 26 bis 30	186	182	235	229
Kanal 31 bis 35	173		218	
Kanal 36 bis 40	162		204	
Kanal 41 bis 45	152		192	
Kanal 46 bis 50	144		180	
Kanal 51 bis 55	135	136	171	172
Kanal 56 bis 60	128		162	
Kanal 61 bis 68	120			

(alle Angaben in mm)

Band III 7 Kanäle, im Band IV 18 Kanäle und im Band V 25 Kanäle.

4.1.2. Aufgewickelte Zweidrahtleitungen als Symmetrie- und Impedanzwandler

Wenn 2 gleich lange und gleichartige Zweidraht-Leitungsstücke an ihrem einen Ende parallelgeschaltet werden und am entgegengesetzten Ende in Serie liegen, findet ebenfalls — wie bei der

Halbwellen-Umwegleitung — eine Transformation 1:4, verbunden mit Symmetriewandlung, statt. Der Wellenwiderstand Z dieser Balun-Leitung erscheint am parallelgeschalteten Ende mit dem halben Wert (Z/2) und ist dort unsymmetrisch. Das gegenüberliegende, in Serie geschaltete Leitungsende ist symmetrisch und hat eine Anschlußimpedanz, für die sich ein Wert des zweifachen Wellenwiderstandes der Balun-Leitung ergibt (2 Z). Die Länge der beiden Leitungsstücke beträgt je $\lambda/4$ (Bild 4.4). Bedingt durch die Leitungslänge in Beziehung zur Wellenlänge ist eine solche Balun-Leitung nur für einen relativ schmalen Frequenzbereich brauchbar. Eine sehr große Bandbreite der Balun-Leitung erhält man, wenn die Leitungsstücke bifilar zu Spulen aufgewickelt werden (Bild 4.5). Das Transformationsverhältnis 1:4 und die Symmetriewandlung bleiben auch in diesem Fall erhalten. Der Wellenwiderstand Z der aufgewickelten Zweidrahtleitung muß 120 Ω (150 Ω) betragen, wenn von 240 Ω (300 Ω) symmetrisch (2 Z) auf 60 Ω (75 Ω) unsymmetrisch (Z/2) transformiert werden soll. Die Länge der aufgewickelten Zweidrahtleitung ist nicht kritisch, sie beträgt im Optimum $\lambda/4$; Abweichungen bis $^1/_{10}\ \lambda$ bzw. $^3/_8\ \lambda$ sind zulässig.

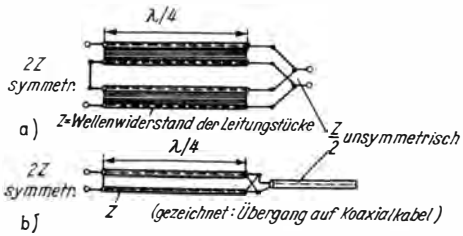


Bild 4.4 Balun-Leitung; a — für Bandleitung, b — für Koaxialkabel

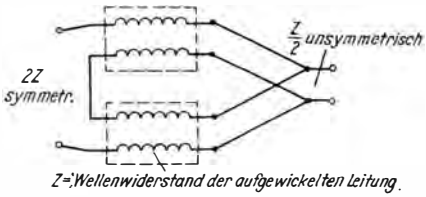


Bild 4.5 Aufgewickelte Balun-Leitung als Anpassungs- und Symmetrierglied

Durch geeignete Ferrit-Eisenkerne kann die aufzubringende Drahtlänge noch erheblich gesenkt werden, so daß man zu räumlich sehr kleinen Bauteilen kommt, die sich innerhalb der Antennenanschlußdose bzw. im Antennenstecker unterbringen lassen. Ein Selbstbau lohnt kaum, da solche Symmetrie- und Impedanzwandler für alle vorkommenden Anwendungsfälle vom Fachhandel preiswert angeboten werden. Zum Einbau in die Antennenanschlußdose gibt es Einbausymmetrierglieder für VHF-Antennen der Bereiche I bis III (z. B. Bestellnummer *3014.04*, *VEB Antennenwerke Bad Blankenburg*) sowie für UHF-Antennen der Bereiche IV/V (z. B. Bestellnummer *3014.05*, *VEB Antennenwerke Bad Blankenburg*). Ausführungen für eine Mastmontage vereinigen in sich die Symmetrierglieder für VHF- und für UHF-Antennen und sind gleichzeitig als Antennenweiche ausgebildet. Entsprechend den vorhandenen Empfängereingängen und dem verwendeten Speisekabel müssen teilweise Empfängersymmetrierglieder eingesetzt werden. Sie tragen in der DDR die Kurzbezeichnung ESY und sind in den Stecker eingebaut. Die Abmessungen von Antennensteckern für Fernseh- und UKW-Rundfunkempfänger zeigt Bild 4.6. Tabelle 4.2. soll die richtige Auswahl des passenden Empfängersymmetrierglieds erleichtern. Diese Symmetrierstecker verursachen eine Dämpfung von ≤ 1 dB, ihre Eingänge sind klemmbar.

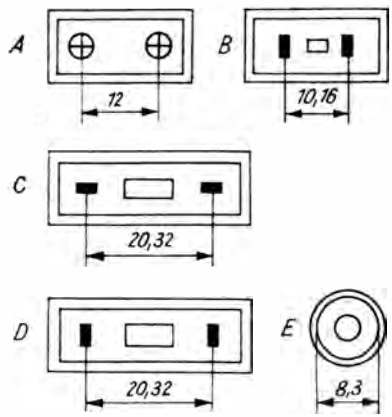


Bild 4.6
Abmessungen der Stecker für UKW-Rundfunk- und Fernsehempfänger (Maßangaben in mm)

Tabelle 4.2. Daten von Empfängersymmetriergliedern der ESY-Reihe

Typ	Eingang	Ausgang	Verwendungsbereiche	Steckerform (Bild 4.6)
ESY 1	75 Ω	300 Ω	Band I bis Band III	A
ESY 2	75 Ω	300 Ω	Band II (UKW-Rundfunk)	B
ESY 3	75 Ω	300 Ω	Band I und Band III	C
ESY 4	75 Ω	300 Ω	Band IV/V	D
ESY 5	300 Ω	75 Ω	Band I, III, IV/V	E

4.2. Viertelwellentransformator

Beim Zusammenschalten von Einzelantennen zu größeren Antennengruppen oder bei manchen gestockten Selbstbauantennen gibt es häufig Anpassungsprobleme, die sich mit den bisher besprochenen Methoden nicht zufriedenstellend lösen lassen. Um in jedem Fall am zentralen Speisepunkt eines Antennensystems auf eine Impedanz von 240 bis 300 Ω zu kommen, bedient man sich häufig des Viertelwellentransformators.

Eine Zweidrahtleitung hat als wichtigste Kenngröße einen bestimmten Wellenwiderstand Z. Seine Größe hängt vom Durchmesser der Leitungen, ihrem gegenseitigen Abstand und vom

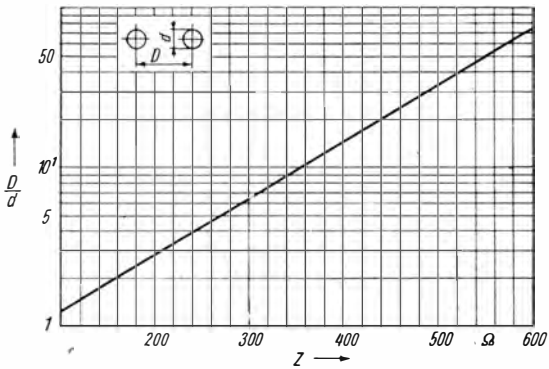


Bild 4.7 Wellenwiderstand Z einer Paralleldrahtleitung mit Luftisolation in Abhängigkeit vom Verhältnis Leiterabstand D zu Leiterdurchmesser d

zwischen den Leitungen befindlichen Isoliermaterial ab. Der Wellenwiderstand einer Leitung ist unabhängig von der Frequenz und der Leitungslänge. Dünne Leiter mit weitem Leiterabstand haben einen großen, dicke Leiter mit geringem Abstand haben einen kleinen Wellenwiderstand. Auch die UKW-Bandleitung ist eine Zweidrahtleitung mit einem Wellenwiderstand von 240 Ω. Aus Bild 4.7 ist der Wellenwiderstand von luftisolierten Zweidrahtleitungen zu ersehen.

Nach der Leitungstheorie — auf die nicht näher eingegangen werden kann — wirkt eine offene Viertelwellenleitung als Widerstandstransformator. Zwischen dem Wellenwiderstand Z einer elektrisch $\lambda/4$ langen Doppelleitung, deren Eingangswiderstand Z_E, und dem Ausgangswiderstand Z_A besteht die Beziehung

$$Z = \sqrt{Z_E \cdot Z_A}. \qquad (4.4.)$$

Wird z. B. für Z_E der Fußpunktwiderstand einer Antennenebene mit 240 Ω angenommen und am Ausgang des Viertelwellentransformators ein Widerstand $Z_A = 480\,\Omega$ gewünscht, so läßt sich nach Gl. (4.4.) der erforderliche Wellenwiderstand Z des Viertelwellentransformators zu

$$Z = \sqrt{240\,\Omega \cdot 480\,\Omega} = \sqrt{115\,200\,\Omega} \approx 340\,\Omega$$

errechnen. Die gleichen Transformationseigenschaften haben auch Leitungen, deren elektrische Länge ein ungeradzahliges Vielfaches von $\lambda/4$ beträgt (z. B. $^3/_4\,\lambda$, $^5/_4\,\lambda$ usw.).

Ein Wellenwiderstand von 340 Ω kann nach Bild 4.7 erreicht werden, wenn das Verhältnis von Leiterabstand D und Leiterdurchmesser d 9:1 beträgt. Benutzt man z. B. Leiter mit d = 3 mm, so ist ein Leiterabstand D von 27 mm einzuhalten.

Betrachtet man die Aufstockungsleitung in Bild 4.8, so ist zu erkennen, daß die Leitungspaare zwischen Z_1 und XX bzw. Z_2 und XX eine Länge von je $\lambda/4$ haben; es sind also bereits 2 Viertel-

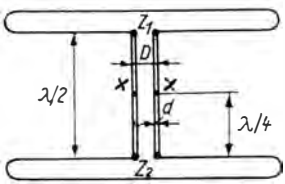


Bild 4.8
Aufstockungsleitung mit zentralem Speisepunkt XX

wellentransformatoren vorhanden. Es muß nun dafür gesorgt werden, daß der Wellenwiderstand dieser Leitungen jeweils von 240 Ω (dem Fußpunktwiderstand jeder Ebene) auf 480 Ω beim gemeinsamen Speisepunkt XX transformiert wird. Da die beiden auf 480 Ω transformierten Widerstände bei XX einander parallelliegen, resultiert daraus der gewünschte Speisepunktwiderstand von 240 Ω. Das vorstehende Rechenbeispiel wurde bereits für diesen Fall gewählt: Die Verbindungsleitung muß einen Wellenwiderstand Z von 340 Ω haben, der durch ein Abstands-/Durchmesser-Verhältnis von 9:1 hergestellt wird.

Natürlich können Viertelwellentransformatoren auch für beliebig andere Übersetzungsverhältnisse bemessen werden, sofern die mechanische Realisierbarkeit von D:d gegeben ist. Zum Beispiel wäre es möglich, die Fehlanpassung der gestockten Antenne nach Bild 2.20 (Teil I) zu beseitigen, indem man an den zentralen Speisepunkt XX einen Viertelwellentransformator mit einem Wellenwiderstand von etwa 180 Ω anschließt. Das entspricht einem Durchmesserverhältnis D : d von 2,3 :1.

Auch Koaxialkabelstücke lassen sich als unsymmetrische Viertelwellentransformatoren verwenden. Bei deren Längenbemessung muß der in den Datenblättern vorgegebene Verkürzungsfaktor V berücksichtigt werden.

Viertelwellentransformatoren sind frequenzabhängig und können somit die Frequenzbandbreite einer Antenne beschneiden; man sollte sie deshalb bei ausgesprochenen Breitbandantennen vermeiden. Ihr Einsatz wird nur sinnvoll, wenn das Verhältnis $Z_A : Z_E > 2$ ist. Beim Zusammenschalten von mehreren Einzelantennen sollte man immer versuchen, mit den in Abschnitt 2.9. (Teil I) beschriebenen Methoden der Breitbandspeisung auszukommen, da man dann auch die Möglichkeit hat, die Etagenabstände frei zu wählen.

5. Aufbauplatz und Ausrichten von Fernsehantennen

5.1. Zur Wahl des Standorts

Erste Voraussetzung für einen guten Bildempfang ist nicht die Leistungsfähigkeit der Antenne, sondern die Wahl des bestmöglichen Antennenstandorts. Selbst das sorgfältigste Ausrichten einer an ungünstiger Stelle errichteten Antenne wird häufig nur mäßigen Erfolg bringen.

Bei der Standortwahl sollte man möglichst direkte Sicht zum Sender anstreben. Die Nähe von Freileitungen und verkehrsreichen Straßen ist zu meiden. Wer die straßenabgewandte Dachseite als Antennenaufbauort wählen kann, hat meist weniger unter örtlich bedingten Störungen zu leiden. Auch aus Sicherheitsgründen ist dieser Aufbauplatz vorzuziehen, da hierbei die Straßenpassanten durch möglicherweise herabfallende Antennenteile weitaus weniger gefährdet sind.

Da jede Außenantenne geerdet sein muß, sollte man bereits bei der Standortwahl diese Forderung mit berücksichtigen. Von mehreren elektrisch gleichwertigen Aufbaupunkten wähle man deshalb den, in dessen Bereich eine günstige Erdungsmöglichkeit für die Antennenanlage vorhanden ist oder geschaffen werden kann.

Um gegenseitige Einflüsse zu vermeiden, sollte man sich der Nachbarantenne nicht zu sehr nähern. Im allgemeinen reicht ein gegenseitiger horizontaler Abstand von 2 bis 3 m aus.

Schornsteinabgase enthalten oft aggressive Bestandteile, die die Antennenanlage angreifen. Deshalb sollte man die unmittelbare Schornsteinnähe als Aufbauplatz meiden. Im übrigen bestehen für die Montage von Antennen an Schornsteinen besondere gesetzliche Vorschriften, auf die noch eingegangen wird. Leider ergibt das Befolgen dieser grundsätzlichen Empfehlungen nicht immer das bestmögliche Fernsehbild. Das ist besonders bei bergigem Gelände und in dichtbebauten Städten der Fall. Wer in solchen reflexions„verseuchten" Gegenden wohnt, sollte nicht die Mühe scheuen, den günstigsten Antennenstandort durch sehr sorgfältige Empfangsversuche zu ermitteln. Im allgemeinen stellt man den Standort, an dem die maximale Feldstärke vorhanden

ist, mit einem Antennentestgerät fest. Abgesehen davon, daß Antennentestgeräte nicht immer zur Verfügung stehen, birgt ihre Anwendung eine schwerwiegende Fehlerquelle in sich: Die Anzeige der maximalen Antennenspannung sagt nichts darüber aus, ob auch gleichzeitig noch Reflexionen empfangen werden. Da aber der Ort mit maximaler Antennenspannung nicht immer bestmögliche Bildwiedergabe garantiert, kontrolliert man besser den Erfolg der Bemühungen um den günstigsten Antennenstandort jeweils direkt am Bildschirm des Fernsehempfängers. Dabei sollte man sich unbedingt der Mithilfe eines mit den Gefahren einer Dachbegehehung vertrauten Fachmanns (z. B. Dachdecker) versichern. Den Fernsehempfänger stellt man für die Zeit des Empfangsversuches am besten im Dachgeschoß auf, da von dort aus meist Rufverbindung mit dem „Dachgänger" besteht. Als Testantenne kann die für die Festmontage vorgesehene Antenne verwendet werden, sofern diese nicht zu groß und unhandlich ist. In allen Fällen eignet sich jedoch auch eine kleine 2-Element-Antenne (z. B. nach Tabelle 2.2.) als Testantenne. Sollte diese kleine Antenne nicht bereits ein mäßiges — wenn auch leicht verrauschtes — Bild liefern, so wird man auch mit sehr umfangreichen Antennensystemen kaum befriedigende Empfangsergebnisse erzielen.

5.2. Aufbauhöhe

Nachdem der günstigste Aufbauort für die Antenne festgelegt und dort das Standrohr montiert wurde, folgt das Befestigen der Antenne an ihrem Mast. Meist ist man bestrebt, die durch das Standrohr gebotene Höhe voll auszunutzen und deshalb die Antenne möglichst weit oben am Rohr zu montieren. Die Praxis zeigt jedoch, daß die größtmögliche Aufbauhöhe keineswegs immer die günstigste ist. Die Höhe einer benachbarten Fernsehantenne bietet noch keine Gewähr dafür, daß diese Höhe auch für die neu zu errichtende Antenne maßgebend sein muß. Bedingt durch das quasioptische Verhalten in den hohen Frequenzbereichen, kann ein Abstand von wenigen Wellenlängen — unter Umständen sogar ein Abstand von einem Viertel oder der Hälfte der Wellenlänge — beträchtliche Empfangsunterschiede ergeben. Besonders in Gebieten mit geringen Feldstärken des Nutzsenders

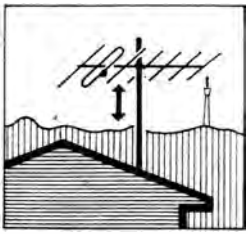


Bild 5.1
Veränderung der Aufbauhöhe

sollte man die Antenne in verschiedenen Höhen am Standort behelfsmäßig befestigen, wobei das Empfangsergebnis am Bildschirm jeweils beobachtet wird (Bild 5.1).

5.3. Seitenrichtung

Im allgemeinen erhält man die maximale Antennenspannung, wenn die Antenne mit ihrer Hauptempfangsrichtung genau auf den Sender ausgerichtet ist; der Sender liegt also genau in der Achsrichtung des Elementträgers (Bild 5.2). Da man den Fernsehsender auf Grund zu großer Entfernung meist nicht sehen kann, und da er sich deshalb optisch nicht direkt anvisieren läßt, wird häufig die Einstellung der Seitenrichtung mit Karte und Kompaß vorgenommen. Im Flachland ergibt dieses Einstellverfahren vielfach die maximale Antennenspannung. In bergigem oder dichtbebautem Gelände ist aber erfahrungsgemäß nicht unbedingt die genaue Einstellung mit dem Kompaß das günstigste Verfahren. Wie aus Bild 5.3 hervorgeht, können Berghänge, große Gebäudekomplexe usw. eine Beugung der Senderstrahlung verursachen, so daß man die maximale Antennenspannung nicht aus der direk-

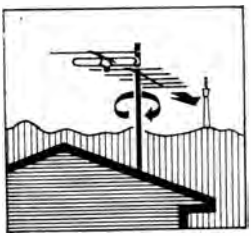


Bild 5.2
Seitliche Ausrichtung
auf den Sender

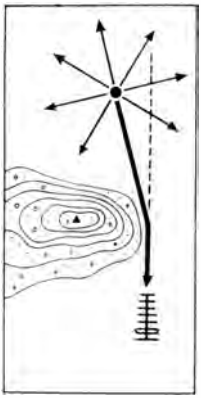


Bild 5.3
Beugung der Strahlung an einem Berghang

ten Richtung zum Sender erhält. Genaue Meßwerte liefert dabei ein Antennentestgerät.
Richtungsabweichungen durch Beugungen sind harmlos, da man sie durch leichtes Verändern der Antennenrichtung immer korrigieren kann. Viel hartnäckiger und leider auch häufiger sind Reflexionen, die sich sehr schwer oder teilweise überhaupt nicht mit herkömmlichen Mitteln völlig beseitigen lassen. Diese Reflexionen und ihre Eigenschaften sollen deshalb im folgenden Abschnitt ausführlicher besprochen werden.

5.3.1. Bildstörungen durch Reflexionen

Reflexionsstörungen beeinträchtigen den Fernseh-Bildempfang unangenehm. Sie sind an Doppelkonturen oder an seitlich versetzten Doppelbildern zu erkennen, die als Echo- oder als Geisterbilder bezeichnet werden.

5.3.1.1. Entstehen eines Geisterbilds

Reflexionen haben ihren Ursprung in einem Mehrwegeempfang desselben Bildsignals. Es werden also neben dem direkten, auf dem kürzesten Weg vom Sender eintreffenden Signal von der Antenne auch noch dieselben Signale aufgenommen, die über einen Umweg

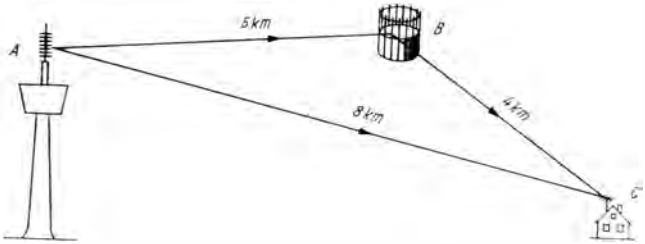


Bild 5.4 Mehrwegeempfang durch Reflexion an einem Gasometer

und deshalb zeitlich verzögert ankommen. Bild 5.4 veranschaulicht diesen Vorgang an einem einfachen Beispiel. Die vom Fernsehsender A ausgestrahlten elektromagnetischen Schwingungen erreichen die Empfangsantenne C auf dem direkten Weg AC und legen dabei eine Strecke von 8 km zurück. Ein großer Gasometer, der 4 km von der Empfangsantenne entfernt steht, reflektiert die Senderstrahlung in Richtung C. Die Weglänge für diese auf dem Umweg über den Gasometer eintreffende Strahlung beträgt dabei AB + BC = 9 km. Es ist also ein Umweg von 1 km zu verzeichnen. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Schwingungen 300 000 km/s beträgt, trifft das reflektierte Signal um $^1/_{300000}$ Sekunde = 3,3 μs gegenüber dem direkten Signal verzögert bei der Empfangsantenne ein (1 μs = 1 Mikrosekunde = 1 Millionstel Sekunde). Wie wirken sich nun diese zeitlich verschoben eintreffenden Bildsignale auf das Schirmbild aus? Von der Bildröhre werden in jeder Sekunde 25 Bilder geschrieben; ein vollständiges Bild kommt also in $^1/_{25}$ s zustande. Da jedes Bild aus 625 Zeilen besteht, beträgt die Zeit, um eine Zeile zu schreiben,

$$^1/_{25}\ \text{s} \cdot {}^1/_{625} = {}^1/_{15\,625}\ \text{s} = 64\ \mu\text{s}\,.$$

Ferner muß noch berücksichtigt werden, daß die 64 μs die Zeit für den Zeilenrücklauf und für die Synchronisierimpulse mit enthalten. Da die Zeile vom Elektronenstrahl immer von links nach rechts geschrieben wird, muß der Strahl, wenn er am rechten Zeilenende angekommen ist, zum linken Zeilenanfang der folgenden Zeile zurücklaufen. Die hierzu und für die Synchronisierimpulse benötigte Zeit beträgt etwa ein Fünftel der Zeilenschreib-

zeit von 64 μs, das sind etwa 13 μs. Die sichtbare Zeile wird demnach in 64 μs − 13 μs = 51 μs geschrieben.
Bei richtiger Einstellung des Fernsehgeräts ist die Zeilenlänge gleich der Bildschirmbreite. Sie beträgt für die handelsüblichen Bildröhren in der Bildmitte etwa

240 mm bei einer 30-cm-Bildröhre,
365 mm bei einer 43-cm-Bildröhre,
485 mm bei einer 53-cm-Bildröhre,
540 mm bei einer 61-cm-Bildröhre.

Aus diesen Angaben kann nun errechnet werden, in welchem Abstand das Geisterbild rechts neben dem direkten Bild in Abhängigkeit vom Laufzeitunterschied auf dem Bildschirm sichtbar wird. Das Beispiel in Bild 5.4 ergab für das reflektierte Signal einen Umweg von 1 km, entsprechend einem Laufzeitunterschied von 3,3 μs. Da die sichtbare Zeile in 51 μs geschrieben wird, ergibt sich für den Abstand a des Geisterbilds bei einer 30-cm-Bildröhre

$$a = \frac{3{,}3}{51} \cdot 240\,\text{mm} = 15{,}53\,\text{mm}\,.$$

Bei einer 43-cm-Bildröhre würde das Geisterbild

$$\frac{3{,}3}{51} \cdot 365\,\text{mm} = 23{,}62\,\text{mm}$$

und bei einer 53-cm-Bildröhre

$$\frac{3{,}3}{51} \cdot 485\,\text{mm} = 31{,}38\,\text{mm}$$

vom Hauptbild entfernt auf dem Bildschirm sichtbar werden. Nach Bild 5.5 kann man den Abstand von Reflexionen auf den handelsüblichen Bildschirmen in Abhängigkeit vom Umweg des reflektierten Signals bzw. den Laufzeitunterschied des Signals direkt ermitteln. Das oben errechnete Beispiel ist gestrichelt gezeichnet.
Bild 5.6 zeigt, wie sich eine starke Reflexion mit einem Laufzeitunterschied von schätzungsweise 2 μs — entsprechend einem Umweg von 600 m — auf dem Bildschirm auswirken kann. Im allgemeinen ist die Feldstärke von reflektierten Wellen geringer als die der direkten Welle, denn bei Reflexionen treten stets, je nach Art, Lage und Struktur der reflektierenden Fläche, mehr oder weniger

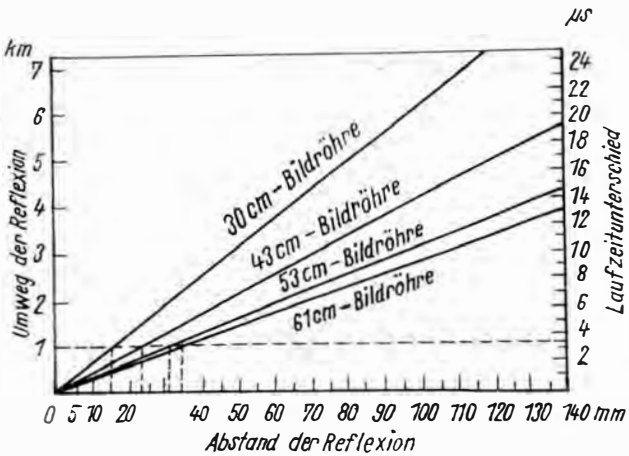


Bild 5.5 Abstand von Reflexionen auf dem Bildschirm in Abhängigkeit vom Umweg des reflektierten Signals bzw. von seinem Laufzeitunterschied

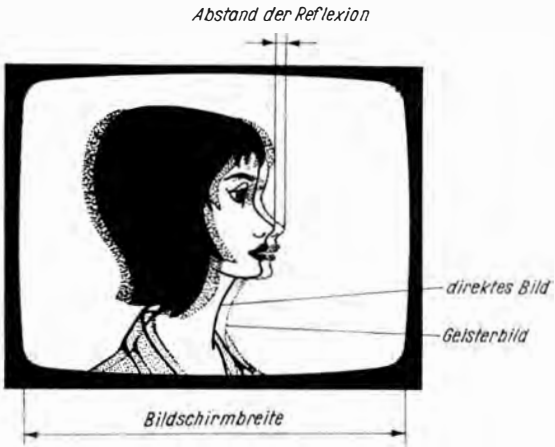


Bild 5.6 Geisterbild

große Verluste auf. Es kommt aber auch vor, daß in Ausnahmefällen das über Reflexionen eintreffende Signal stärker ist als das auf direktem Wege eintreffende. Das kann z. B. dann der Fall

sein, wenn sich die reflektierende Fläche an einem Ort befindet, an dem eine besonders große Feldstärke vom Nutzsender auftrifft. Des weiteren treten diese Erscheinungen auf, wenn im kürzesten Ausbreitungsweg absorbierende Hindernisse wie Hochspannungsmasten oder Freileitungen liegen oder wenn Reflexionen sehr verlustarm an größeren glatten Metallflächen — etwa an einem Gasometer — auftreten. Beträgt die Spannung der reflektierten Welle am Empfängereingang nur wenige Prozent von der der direkten Welle, so ist ebenfalls auf dem Bildschirm ein Geisterbild zu erkennen.

Haben am Empfängereingang Reflexionen und direkte Welle annähernd die gleiche Spannung, dann ist ein Bildempfang nicht mehr möglich, weil der Empfänger keine eindeutigen Synchronisierimpulse erhält. Die Synchronisierimpulse sind der übertragenden Welle zusätzlich aufmoduliert. Sie stellen sicher, daß Abtast- und Aufzeichnungszeit bei der Bildübertragung immer genau gleich sind. Werden dem Empfänger keine einwandfreien und eindeutigen Synchronisierimpulse zugeführt, so „fällt er aus dem Tritt", und das Bild läßt sich nicht zum Stehen bringen. Durch den Laufzeitunterschied der reflektierten Welle erscheinen ihre Synchronisierimpulse um die gleiche Zeitspanne verschoben wie die Bildpunkte. Der Empfänger erhält deshalb die Synchronisierimpulse doppelt, aber zu unterschiedlichen Zeiten. Eine Synchronisierung des Fernsehbilds ist daher nicht mehr möglich.

Der Fernsehbegleitton wird durch reflexionsbedingte Laufzeitunterschiede nicht beeinträchtigt, zumindest werden die dadurch hervorgerufenen Verzerrungen vom menschlichen Ohr noch nicht als störend wahrgenommen.

Es können auch Doppelreflexionen auftreten, wenn die Strahlung zweimal an verschiedenen Reflexionsflächen reflektiert wird (Bild 5.7). Manchmal sind auch Mehrfachreflexionen zu beobachten, die ganze Serien von Geisterbildern verursachen. Fallen Reflexionen in einem kleineren Winkel als etwa 25° zum Hauptstrahl ein, so können sie kein Geisterbild mehr erzeugen, da der Laufzeitunterschied zu gering ist. In Fällen von Doppelreflexionen werden jedoch auch bei Einfallswinkeln $<25°$ zum Hauptstrahl Echobilder hervorgerufen. Befindet sich die Reflexionsfläche weniger als 30 m von der Empfangsantenne entfernt, so können ebenfalls keine Geisterbilder auftreten, weil der mögliche Umweg der reflektierten Welle zu gering ist.

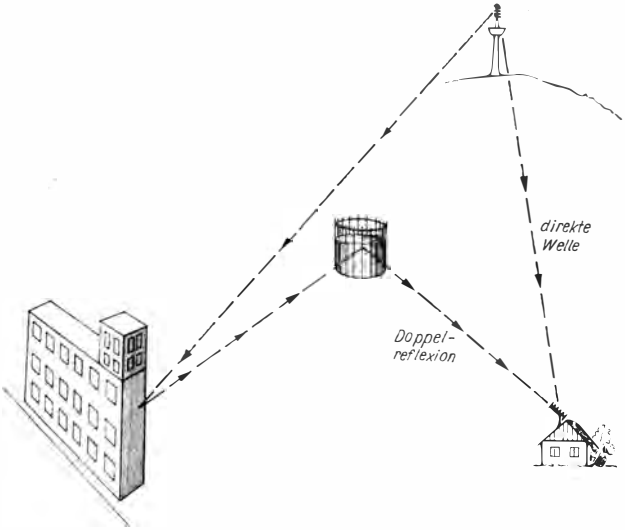


Bild 5.7 Doppelreflexion

Von einem Geisterbild spricht man nur dann, wenn es mindestens 1 mm Abstand vom Hauptbild hat. Kleinere Abstände ergeben Doppelkonturen, die man auch als *Plastik* bezeichnet. Bewegen sich die Abstände von Reflexionen zum Direktbild in der Größenordnung von Zehntelmillimetern, so werden nur die Bildkonturen zwischen Schwarz und Weiß unscharf.

5.3.1.2. Ausblenden von Reflexionen

Hinter der Empfangsantenne gibt es kaum noch Möglichkeiten, vorhandene Geisterbilder zu unterdrücken; denn die reflektierten Wellen haben kein Unterscheidungsmerkmal, das zur Trennung von der Hauptwelle genutzt werden könnte. Alle Bemühungen zur Beseitigung von Reflexionen müssen sich daher auf die Antenne beschränken.
Zunächst stellt man fest, aus welcher Richtung die störende Reflexion einfällt. Dabei wird die Antenne so lange gedreht, bis das Geisterbild am stärksten ist. Die Einfallsrichtung der Re-

flexion kann jeden beliebigen Winkel zur direkten Richtung zum Sender haben; vorerst soll jedoch grob in „Aufnahme von hinten", „Aufnahme seitlich" und „Aufnahme von vorn", bezogen auf die direkte Antennenrichtung, unterschieden werden.

Reflexionseinfall von rückwärts (Bild 5.8)
Jede Fernsehantenne empfängt einen mehr oder weniger großen Anteil an rückwärtiger Strahlung. Diese unerwünschte Eigenschaft ist aus den Richtdiagrammen erkennbar und wird in den Kenndaten durch das *Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis* (VRV) in Dezibel angegeben. Das VRV bezeichnet man auch als die Rückdämpfung der Antenne. Eine Fernsehempfangsantenne mit völliger Unterdrückung der rückwärtigen Strahlung gibt es nicht. Sie müßte mit einem sehr großen Reflektorschirm versehen werden, dessen Durchmesser etwa die zehnfache Betriebswellenlänge haben sollte (Schirmdurchmesser im Band III etwa 15 m).
Um den Rückseitenempfang weitestgehend zu unterdrücken, muß eine Empfangsantenne mit möglichst großer Rückdämpfung verwendet werden. Dabei verhalten sich Einkanalantennen bezüglich der Rückdämpfung günstiger als Kanalgruppen- oder Breitbandantennen. Die Rückdämpfung einer Antenne hat eine größere Frequenzabhängigkeit als ihre Vorwärtsverstärkung. Man wird deshalb häufig feststellen, daß eine Breitbandantenne in einem oder in mehreren Empfangskanälen ein großes VRV zeigt, während in den übrigen Kanälen die Rückdämpfung mangelhaft ist. Bei Breitbandantennen gibt man deshalb meist die maximale und die minimale Rückdämpfung an. Da die Datenblätter aber fast nie Genaues über den Frequenzgang der Rückdämpfung aussagen, verzichtet man besser auf Breitbandausführungen, wenn

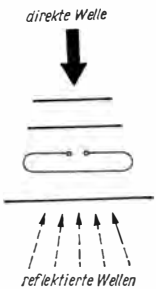


Bild 5.8
Rückwärtsreflexion

Reflexionen zu unterdrücken sind, die von rückwärts einfallen. Von den Selbstbauantennen zeichnet sich besonders die Hybrid-Doppelquad nach Tabelle 2.10. durch große Rückdämpfung aus.

Gute Rückdämpfungswerte weisen auch Reflektorwandantennen auf, deren VRV in Breitbandausführung keinen merkbaren Frequenzgang hat. Leider sind diese Gebilde sperrig und erfordern einen großen Materialaufwand. Man findet sie deshalb im Fabrikationsprogramm der Antennenindustrie nur noch selten.

Ordnet man 2 gleichartige Antennen horizontal nebeneinander an (Zwillingsantennen), so erhöht sich die Rückdämpfung gegenüber einer Einzelantenne. Gleichzeitig wird durch diese Maßnahme ein sehr kleiner horizontaler Öffnungswinkel erzielt, der besonders nützlich sein kann, wenn gleichzeitig noch Reflexionen aus anderen Richtungen auftreten.

Die wirksamste und wirtschaftlichste Lösung für die Unterdrückung rückwärtiger Reflexionen bietet sich jedoch, wenn die Möglichkeit besteht, die Schattenwirkung von Gebäuden auszunutzen. In Bild 5.9 ist dieser Fall dargestellt. Eine Antenne, die den Dachfirst überragt, nimmt neben der direkten Welle auch noch Reflexionen von rückwärts auf (Bild 5.9a). Die Lösung zeigt Bild 5.9b. Es wird die abschirmende Wirkung des Gebäudes ausgenutzt, indem man die Antenne im Abschattungsgebiet der Rückwärtsreflexionen aufbaut. Mit etwas Überlegung lassen sich solche oder ähnliche Möglichkeiten häufig finden. Massive Gebäudeteile haben eine gute Abschirmwirkung, im Bereich hölzerner Dachkonstruktionen ist sie aber nur gering. Andererseits muß man bedenken, daß auch die Nutzfeldstärke vom Dach bis zum Erdgeschoß stark abnimmt; das ist besonders bei Eisenbetonbauten der Fall.

Seitlicher Einfall von Reflexionen (Bild 5.10)

Zum Ausblenden von Reflexionen, die seitlich zur Hauptrichtung einfallen, werden sogenannte *Nullstellen*, die im Richtdiagramm von *Yagi*-Antennen erkennbar sind, genutzt. Diese Nullstellen befinden sich symmetrisch zu beiden Seiten und rechtwinklig zur Hauptstrahlrichtung (Bild 5.11). Elektromagnetische Wellen, die unter dem Winkel solcher Nullstellen die Antenne erreichen, werden stark gedämpft. Die Dämpfung der Nullstellen ist im allgemeinen viel größer als die Rückdämpfung von *Yagi*-Antennen. Natürlich fallen seitliche Reflexionen nur selten unter dem Winkel

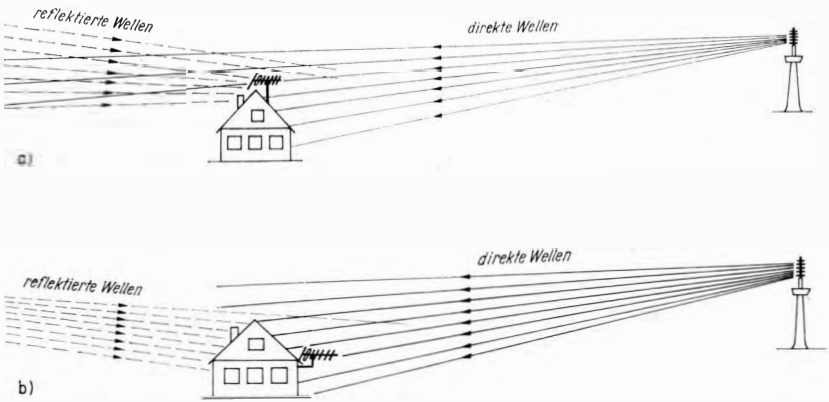


Bild 5.9 Ausnutzung reflektierter Wellen; a — Antenne empfängt direkte und reflektierte Wellen, b — Antenne im Schattengebiet reflektierter Wellen aufgebaut

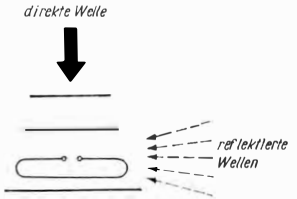


Bild 5.10
Seitlicher Einfall von Reflexionen

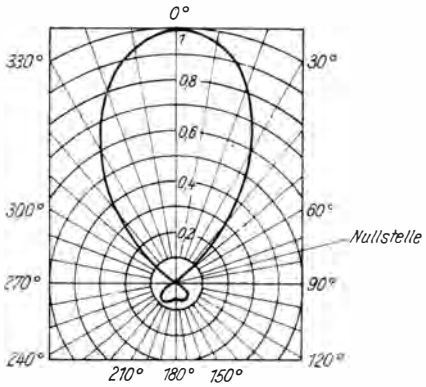


Bild 5.11
Horizontales Richtdiagramm einer *Yagi*-Antenne

der Nullstellen ein. Die Antenne muß deshalb so gedreht werden, daß die Nullstelle genau in der Richtung der seitlich einfallenden Reflexion liegt (Bild 5.12). Dabei ist dann die Antenne nicht mehr genau auf den Sender ausgerichtet, sondern mehr oder weniger aus der Hauptstrahlrichtung herausgedreht. Da aber gleichzeitig die Reflexionen viel mehr geschwächt werden als die direkten Wellen, steigt der Abstand Nutzspannung/Störspannung (kurz:

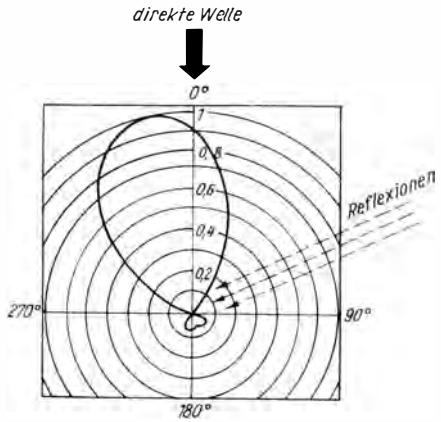


Bild 5.12 *Yagi*-Antenne, aus der Hauptempfangsrichtung verdreht; Reflexionen fallen in eine Nullstelle

Störspannungsabstand) erheblich an. Der Erfolg zeigt sich in einer völligen Unterdrückung oder zumindest in einer entscheidenden Abschwächung der Geisterbilder.
Auch im Fall seitlich auftretender Reflexionen kann hin und wieder die abschattende Wirkung von Gebäudeteilen ausgenutzt werden.

Einfall der Reflexionen von vorn (Bild 5.13)
Fallen Reflexionen annähernd aus der Richtung der direkten Wellen ein, so handelt es sich zumindest im Bereich bis 25° beiderseits der Hauptstrahlrichtung um doppelt reflektierte Signale (s. Bild 5.7). Ihre Beseitigung ist schwierig und gewöhnlich nur dann möglich, wenn die reflektierte Spannung einen geringen Bruchteil der direkten Spannung beträgt. Da der horizontale Öffnungswinkel auch bei langen *Yagi*-Antennen mit vielen Elementen bestenfalls 35 bis 40° beträgt, lassen sich die Reflexionen innerhalb dieses Winkelbereichs auch bei großem Antennenaufwand nicht ausblenden. Etwas günstiger sind Zwillingsantennen, mit denen sich Öffnungswinkel von 25 bis 35° erreichen lassen. Darum kann mit einer erfolgreichen Störungsbeseitigung nur dann gerechnet werden, wenn die Reflexionen, um mindestens 25° seitlich versetzt von der Hauptempfangsrichtung, einfallen. Antennen mit möglichst kleinem horizontalem Öffnungswinkel — vorzugsweise Zwillingsantennen — sind Bedingung. Häufig kann man die Bildqualität nur verbessern, indem der Antennenstandort gewechselt wird.

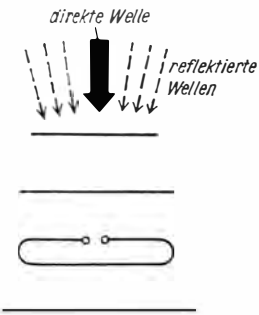


Bild 5.13
Reflexionen von vorn

Unterdrückung von Reflexionen durch Dämpfung des Gesamtsignals

Jeder Fernsehempfänger hat eine bestimmte Ansprechempfindlichkeit. Deshalb spricht er nicht mehr auf Störspannungen an, die kleiner sind als die Rauschspannung. Ist also der Spannungsanteil der Reflexionen am Empfängereingang kleiner als die Ansprechspannung des Empfängers, dann können diese Störungen auf dem Bildschirm nicht mehr sichtbar werden. Auf Grund dieser Tatsache läßt sich ein Verfahren angeben, mit dem sich Reflexionsstörungen vermindern oder beseitigen lassen.

Unsere modernen Fernsehempfänger benötigen für einwandfreie Bildwiedergabe eine Empfangsspannung von etwa 500 μV am 240-Ω-Empfängereingang. Sehr viel höhere Eingangsspannungen bringen keine Vorteile mehr, sie können im Gegenteil Übersteuerungen des Empfängers hervorrufen. Lassen sich bei einer starken Nutzspannung gleichzeitig schwache Reflexionen erkennen, dann dämpft man die Gesamtspannung so weit, daß nur etwa 500 μV am Empfängereingang liegen. Da hierbei nicht nur die Nutzspannung, sondern in gleicher Weise auch die Störspannungen herabgesetzt werden, kann man in vielen Fällen erreichen, daß die reflektierten Spannungen kleiner als die Ansprechspannung und damit unwirksam werden. Dieses Verfahren ist im allgemeinen nur dann erfolgreich, wenn vorher schon antennenseitig alle Möglichkeiten zur Ausblendung von Reflexionen angewendet wurden. Es bildet dann sozusagen das Tüpfelchen auf dem i. Geeignete Dämpfungsglieder zum Selbstbau werden in Abschnitt 7.2.1. beschrieben.

Zusammenfassung

Das erfolgreiche Ausblenden von Reflexionen bedarf einiger Erfahrungen und oft sehr zeitraubender Versuche, da eine allgemeingültige Regel auf Grund der vielen Möglichkeiten nicht gegeben werden kann.

In reflexions„verseuchten" Gebieten ist die Auswahl des geeigneten Antennentyps von entscheidender Bedeutung. Gruppenantennen sind in diesen Gegenden ungeeignet. In Frage kommen ausschließlich scharfbündelnde *Yagi*-Antennen, wobei man Einkanal-*Yagi*-Antennen den Breitbandausführungen vorziehen sollte. In schwierigen Fällen können oft Zwillingsantennen (2 Einkanal-*Yagi*-Antennen horizontal nebeneinander) Hilfe bringen.

Die Antenne soll nicht nach dem Antennengewinn schlechthin ausgewählt werden; man muß vielmehr die gesamte Richtcharakteristik berücksichtigen (horizontaler Öffnungswinkel, Nullstellen, Rückdämpfung).
In Ausnahmefällen ist eine Reflexion stärker als die direkt empfangene Welle. Es erscheint dabei auf dem Bildschirm links vom Hauptbild ein „Vorgeist", der die direkte Welle mit der kürzesten Laufzeit anzeigt. Handelt es sich dabei um eine stabile Reflexion, so richtet man die Antenne auf diese Reflexion aus und unterdrückt die direkte Welle.
Reflexionen können auch von einer als Ableitung verwendeten UKW-Bandleitung aufgenommen werden. Abhilfe: Koaxialkabel verwenden, da dieses auf Grund seines abschirmenden Außenleiters eine Störungsaufnahme zuverlässig verhindert.

5.4. Schwenken der Antenne

Im allgemeinen ist der Elementträger einer Fernsehantenne horizontal angeordnet, da man für den Normalfall bei horizontal polarisierten Sendern einen waagerechten Einfall der Senderstrahlung annimmt. An Berggraten, Gebäudekanten und ähnlichen Hindernissen sowie in Sendernähe treten manchmal Beugungen der Wellenfront auf. Infolgedessen verläuft die Strahlung nicht mehr waagerecht, sondern in einem entsprechenden Winkel zur Erdoberfläche (Bild 5.14). Eine unter diesen Umständen waagerecht aufgebaute Antenne empfängt nicht die maximale Spannung. Wird der Elementträger vertikal so geschwenkt, daß er parallel zur Einstrahlrichtung liegt, dann ist maximale Spannungsaufnahme möglich.

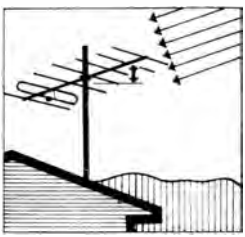


Bild 5.14
Schwenken der Antenne bei schrägem Strahlungseinfall

Bei scharfbündelnden VHF- und UHF-Antennen mit kleinem vertikalem Öffnungswinkel ist deshalb meist schon vom Hersteller eine Schwenkmöglichkeit innerhalb eines bestimmten Bereichs (meist bis etwa 30°) vorgesehen. Dazu sind im allgemeinen die Teile der Mastschelle, die den Elementträger festhalten, beweglich gelagert. Nach dem Lockern der Befestigungsschrauben kann man den Elementträger schwenken.

Selbst dann, wenn die Antenne so genau wie möglich auf den Sender ausgerichtet ist, kann ein Verschieben des Elementträgers in der Längsrichtung (vorwärts oder rückwärts) noch eine Empfangsverbesserung ergeben. Für theoretische Betrachtungen nimmt man das elektromagnetische Feld als völlig gleichförmig verteilt (homogen) an. Ist aber der Ausbreitungsraum selbst infolge starker Bebauung oder bergigen Geländes nicht gleichförmig, so wird auch das elektromagnetische Feld inhomogen (ungleichförmig verteilt). Es treten dabei innerhalb sehr kleiner Abstände Maxima und Minima auf. Solche Erscheinungen sind häufig im Bereich III, vorzugsweise aber in den UHF-Bereichen IV/V zu beobachten. In schwierigen Empfangslagen lohnt es sich deshalb, die Antenne versuchsweise in ihrer Längsrichtung um 10 bis 50 cm zu verschieben.

6. Fremde Störer

Bereits Störspannungen, die nur 1 % der Nutzspannung betragen, sind unter Umständen als Bildstörung (bei genauer Betrachtung) im Fernsehbild zu erkennen. Der Störspannungsabstand für einwandfreien Fernsehempfang soll deshalb mindestens 40 dB betragen.

Um Störungen beseitigen oder herabmindern zu können, ist es wichtig, die Störungsursache bzw. Störungsquelle zu kennen. Mit einiger Erfahrung läßt sich die Störungsursache in den meisten Fällen auf dem Schirmbild identifizieren. Störspannungen werden fast ausnahmslos von der Antennenanlage aufgenommen. Nur sehr starke örtliche Störungen können sich mitunter über die Netzzuleitung oder durch direkte Einstrahlung auf den Empfänger auswirken.

6.1. Gleichkanalstörungen

Alle Kanäle der Fernsehbereiche I und III sind in Mitteleuropa bereits stark überbelegt. Hinzu kommt eine Vielzahl von Fernseh-Frequenzumsetzern, die ebenfalls noch auf den Kanälen des Bereichs III untergebracht wurden. Obwohl man die Sendekanäle unter Berücksichtigung der Senderstandorte in der Weise zuteilte, daß gegenseitige Störungen normalerweise unwahrscheinlich sind, so treten in einigen Gebieten doch immer wieder sogenannte Gleichkanalstörungen (Bild 6.1) auf. Sie entstehen meistens zu Zeiten troposphärisch bedingten Überreichweitenempfangs an den Grenzen der Versorgungsbereiche. Da solche gegenseitigen Störungen zwischen weit voneinander entfernten Fernseh-Großsendern meistens nur während besonders ausgebildeter Hochdruckwetterlagen kurzzeitig auftreten, lohnt es nicht, Maßnahmen gegen solche Gleichkanalstörungen einzuleiten. Dagegen sind in gebirgigen Gegenden mit vielen Fernseh-Frequenzumsetzern häufig dauernde Gleichkanalstörungen zu verzeichnen. Sie können sowohl von anderen Frequenzumsetzern im selben Kanal und mit demselben Programm als auch von Fremdsendern hervorgerufen werden.

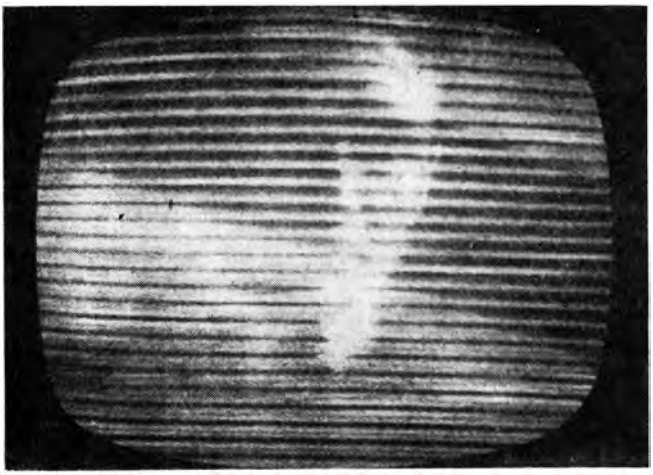


Bild 6.1 Starke Gleichkanalstörungen (Foto: *Triebel*)

Bei Gleichkanalstörungen durch einen Sender mit demselben Programm können wegen unterschiedlicher Laufzeiten Geisterbilder entstehen. Die Bildsynchronisation wird unstabil und fällt mitunter sogar ganz aus. Teilweise sind die Laufzeitdifferenzen so groß, daß außerdem der Tonempfang verzerrt ist.

Ein Fremdsender im selben Kanal kann keine Geisterbilder erzeugen. Es entstehen vielmehr durch Überlagerung verschiedenartige Streifenmuster und waagerechte Balken auf dem Bildschirm, die meist nach oben oder nach unten über das Bild rollen. Die Bildkonturen werden korkenzieherförmig verzerrt, und die Bildsynchronisation ist sehr labil. Schließlich läßt sich der Bildinhalt nicht mehr erkennen, und die Synchronisation fällt völlig aus.

Ähnliche Störungen werden manchmal auch in den Grenzgebieten zur Volksrepublik Polen und zur ČSSR beobachtet. Weil die dort betriebenen Fernsehsender nach dem Kanalschema der OIRT-Norm arbeiten, kann es vorkommen, daß ihre Seitenbänder noch in den Kanal des zu empfangenden Fernsehsenders nach CCIR-Norm hineinragen, obwohl sich die Trägerfrequenz des störenden Senders außerhalb des CCIR-Kanals befindet. Da sich Gleichkanalstörungen genauso wie Störungen durch Reflexionen als die

Folge von Laufzeitdifferenzen ausbilden, sind auch die Möglichkeiten zu ihrer Beseitigung die gleichen. Es wird deshalb auf Abschnitt 5.3.1. verwiesen.

6.2. Örtlich bedingte Störungen

Alle Geräte und Anlagen, die als Nebenwirkung hochfrequente Schwingungen zur Ausstrahlung bringen — sogenannte funkstörende Erzeugnisse —, unterliegen der Entstörungspflicht. Die gesetzliche Grundlage dafür bildet die *Funk-Entstörungsordnung* vom 3. April 1959. Das Ermitteln von Störquellen und die Beratungen über Funk-Entstörungsmaßnahmen gehören zu den Aufgaben des *Funk-Entstörungsdienstes* der *Deutschen Post*. Diese Leistungen des Funk-Entstörungsdienstes sind gebührenfrei.

Eine Funkstörung liegt vor, wenn die Störspannung an der Betriebsantenne der gestörten Empfangsanlage den Wert von 5 μV überschreitet. Als Mindestwert für einen einwandfreien Fernsehempfang ist in der Funk-Entstörungsordnung ein Störspannungsabstand von 46 dB (= 200:1) festgelegt.

Voraussetzung für das Eingreifen des Funk-Entstörungsdienstes ist ein technisch einwandfreier Zustand der gestörten Empfangsanlage. Dazu gehört auch — zumindest bei Fernsehempfangsanlagen — eine zweckentsprechende und vorschriftsmäßig installierte Außenantenne.

6.2.1. Störungen durch Oszillatoroberwellen

Die Oberwellen von Schwingungserzeugern (Oszillatoren) können — sofern sie in die Fernseh-Empfangsbereiche fallen — erhebliche Störungen verursachen. Ihre Erscheinungsform auf dem Bildschirm ist sehr vielseitig; sie reicht von netzartigen Musterungen über furnierartige Maserungen bis zur Balkenbildung. Als Störquellen sind Hochfrequenz-Heilgeräte (Diathermiegeräte) und sonstige, auch industriell genutzte Hochfrequenzgeneratoren möglich. Obwohl solche Anlagen der Entstörungspflicht unterliegen, kann es vorkommen, daß als Folge von oft nichterkannten Defekten Störwellen abgestrahlt werden.

Häufiger sind Bildstörungen, die sich durch ältere UKW-Rundfunkempfänger und Selbstbauempfänger ergeben. Bedingt durch den Aufbau solcher Geräte, gelangen die Oberwellen des Oszillators zur Empfangsantenne und werden von dieser ausgestrahlt. Bekanntlich liegt die Oszillatorfrequenz des UKW-Teils von Rundfunkempfängern um 10,7 MHz über dem Frequenzbereich des UKW-Rundfunks. Nur bei einigen älteren UKW-Hörrundfunkempfängern der Industrie schwingt der Oszillator um den Wert der ZF unterhalb des Empfangsbereichs. Der Oszillator schwingt deshalb je nach Sendereinstellung zwischen 98,2 MHz und 110,7 MHz. Die 1. Oberwelle des Oszillators (196,4 bis 221,4 MHz) kann daher Störungen in den Kanälen 8 bis 11 des Fernsehbereichs III verursachen. Desgleichen stört eventuell ein auf den Bereich I abgestimmter Fernsehempfänger in einem benachbarten Gerät mit seinen Oszillatoroberwellen die Kanäle 5 bis 10. Im Bereich IV/V sind die Kanäle 21 bis 26 und 42 bis 58 durch Oberwellen von auf Band III abgestimmten Fernsehempfängern gefährdet. Es können sich auch Oberwellen höherer Ordnungszahl, die in der Nähe starker kommerzieller Sender auftreten, störend auswirken.

In allen Fällen sollte die kostenlose Hilfe des Funk-Entstörungsdienstes der *Deutschen Post* in Anspruch genommen werden. Eigene Versuche zur Minderung solcher Oszillatorstörungen sind wenig erfolgversprechend, zumal es kaum möglich ist, ohne entsprechende Meßeinrichtungen die Störquellen zu lokalisieren.

6.2.2. Störungen durch Funkenbildung

Jeder Spannungsüberschlag mit Funken- oder Lichtbogenbildung verursacht die Ausbildung gedämpfter elektromagnetischer Schwingungen sehr breiter Frequenzbereiche. Sie verursachen beim Tonempfang Knack- und Prasselgeräusche, beim Fernseh-Bildempfang sind sie durch weiße oder schwarze Punktreihen gekennzeichnet, die waagerecht über den Bildschirm laufen. Bei sehr starken Funkenstörungen kann die Bildsynchronisation ausfallen. Zündfunkenstörungen von *Otto*-Motoren sind häufig. Obwohl in der DDR eine gesetzliche Entstörungspflicht für Kraftfahrzeug-*Otto*-Motoren besteht, werden von fehlerhaften oder unzureichend entstörten Fahrzeugen häufig Zündfunkenstörun-

gen hervorgerufen. Selbst vorschriftsmäßig entstörte Fahrzeuge können den Fernsehempfang noch beeinträchtigen, und zwar dann, wenn die Fernsehantenne in unmittelbarer Nähe einer verkehrsreichen Straße montiert wird.

An Stromabnehmern von elektrischen Bahnen und Obussen entstehen Lichtbögen. Schadhafte Isolatoren von Hochspannungsleitungen können durch Koronaeffekt (Sprüherscheinung) besonders bei Nebel dauernde Überschläge auslösen. Wackelkontakte in elektrischen Hausinstallationen, schadhafte elektrische Hausgeräte wie Küchenmaschinen und Elektrorasierer sind weitere Störquellen. Obwohl die Elektrogeräte bereits vom Hersteller entstört werden müssen, kommt es häufig vor, daß die Entstörungsbauteile durch bestimmte Einflüsse unwirksam geworden sind. Trotz gesetzlich vorgeschriebener Entstörungsmaßnahmen entsteht in dichtbesiedelten und verkehrsreichen Wohngebieten ein mehr oder weniger starker Störpegel, der sich aus einer Vielzahl kleiner und meist nur kurzzeitig wirksamer Störquellen zusammensetzt.

Da die örtlich bedingten Störungen den Empfänger fast immer über die Antenne erreichen, sollte dieser Umstand bereits bei der Auswahl des Antennenstandorts berücksichtigt werden. Deshalb beachte man folgende Hinweise:

- Antenne möglichst weit entfernt von örtlichen Störquellen aufstellen, d. h., im Normalfall wird nur eine Außenantenne auf dem Hausdach in Frage kommen.
- Scharfbündelnde Antennen mit großem Antennengewinn und schmalem vertikalem Öffnungswinkel sind immer richtig. Der große Antennengewinn ergibt hohe Nutzspannung und damit großen Störspannungsabstand. Der schmale vertikale Öffnungswinkel unterdrückt die Aufnahme der von unten aus den Störquellen einfallenden Störstrahlung. In schwierigen Fällen verwende man Mehretagenantennen, das sind z. B. gleichartige *Yagi*-Antennen, in einem Abstand von $\geq \lambda/2$ senkrecht übereinandergestockt. Diese vertikal gestockten Antennen haben einen besonders kleinen vertikalen Öffnungswinkel.

Treten auch bei einwandfreier Außenantennenanlage starke örtlich bedingte Störungen auf, so verständige man den Funk-Entstörungsdienst der *Deutschen Post*.

7. Eingangsspannung

Jeder Fernsehempfänger benötigt für einwandfreie Bildwiedergabe eine bestimmte Mindest-Eingangsspannung. Nicht allgemein bekannt ist, daß auch zu große Eingangsspannungen die Bildqualität nachteilig beeinflussen.

7.1. Zu geringe Eingangsspannung

Ist die Eingangsspannung sehr gering, so muß die Verstärkung des Empfängers voll aufgeregelt werden. Vom Rundfunkempfänger her wird bekannt sein, daß mit steigender Verstärkung ein wachsendes Rauschen auftritt. Dieses Rauschen schwillt schließlich so an, daß ein sehr schwacher Sender in dem Rauschen untergeht. Auch beim Fernsehempfang tritt das Rauschen als Folge zu geringer Eingangsspannung auf. Auf dem Bildschirm ist es als *Schnee* oder *Grieß* zu erkennen. Das am Ausgang eines Empfängers vorhandene Grundrauschen ist das Produkt der Störpegel verschiedener Rauschquellen, die sowohl innerhalb als auch außerhalb des Empfängers liegen. Man unterscheidet deshalb zwischen dem kosmischen Rauschen (aus dem Weltall kommend) und dem Empfängerrauschen (im Empfänger erzeugt). Das Empfängerrauschen hat seine Ursache in der *Brownschen Molekularbewegung* bzw. im *Schrotteffekt* der 1. Verstärkerstufe.

Die *Brown*sche Molekularbewegung erklärt sich daraus, daß die zwischen den Molekülen befindlichen freien Elektronen in eine unregelmäßige Bewegung geraten, sobald die Temperatur über 0 K (Null Grad *Kelvin* = absoluter Nullpunkt), entsprechend — 273 °C, ansteigt.

Der Schroteffekt ist eine der Ursachen des Röhrenrauschens bei mittleren und hohen Frequenzen. Zur Veranschaulichung mag man sich vorstellen, daß die Elektronen nicht in gleichmäßigen Zeitabständen auf die Anode prallen. Der Anodenstrom stellt einen zeitlichen Durchschnittswert dar. So gering die Abweichungen gegenüber dem mittleren Wert auch sind, so werden sie doch bei entsprechend großer Verstärkung hör- bzw. sichtbar. Diese

unregelmäßige Elektronenbewegung kann als eine Kombination zahlloser Wechselströme ungleicher Frequenzen angesehen werden; sie ergibt in unseren Empfängern ein unerwünschtes Rauschen. Die erzeugte Rauschspannung ist direkt abhängig von der Temperatur, dem ohmschen Widerstand und der Bandbreite. Sämtliche — auch die im weiteren Sinn dazugehörenden — Wirkwiderstände rauschen. Das gilt in erster Linie für Röhren und Resonanzkreise. Auch Transistoren rauschen infolge der ungleichmäßigen Bewegung ihrer Ladungsträger. Jede Rauschquelle kann man durch einen äquivalenten Widerstand ersetzen, an dem die gleiche Rauschspannung erzeugt wird. Insbesondere bei Empfängerröhren ist der *äquivalente Rauschwiderstand* eine sehr wichtige und gebräuchliche Kennzeichnung der Rauscheigenschaften.

Heute können Meterwellen beliebig verstärkt werden. Der Verstärkung ist lediglich durch das Empfängerrauschen eine Grenze gesetzt, da es ebenfalls mitverstärkt wird. Entscheidend für das Eigenrauschen eines Empfängers ist der äquivalente Rauschwiderstand der Eingangsstufe. Durch die Entwicklung der Spanngittertechnik im Röhrenbau können moderne Fernsehempfänger mit Eingangsröhren bestückt werden, die einen sehr geringen äquivalenten Rauschwiderstand haben. Diese Empfänger sind rauschärmer als ältere Ausführungen und kommen mit geringeren Eingangsspannungen aus. Noch rauschärmer sind transistorisierte Eingangsstufen, vor allem, nachdem es gelungen ist, speziell geeignete Transistortypen für Eingangsstufen zu entwickeln.

7.1.1. Antennenverstärker

Manche Fernsehteilnehmer glauben, in einem Antennenverstärker das Allheilmittel gegen zu geringe Nutzspannung gefunden zu haben. Tatsächlich ist aber der Einsatz eines Antennenverstärkers bei einer Einzelempfangsanlage nur unter bestimmten Voraussetzungen sinnvoll.

Handelsübliche Antennenverstärker für die Fernsehbereiche liefern je nach Ausführung und Bereich Spannungsverstärkungen zwischen etwa 20 dB (= 10fach) und 36 dB (= 60fach). In Abhängigkeit von der verwendeten Eingangsstufe werden leider auch von einem Antennenverstärker Rauschleistungen erzeugt,

die sich von denen der Eingangsstufe moderner Fernsehempfänger kaum unterscheiden. Das Verhältnis von Nutzspannung zu Rauschspannung am Empfängereingang wird deshalb durch das Vorschalten eines Antennenverstärkers nicht verbessert. Die erhebliche Verstärkung bringt wohl einen besseren Bildkontrast und eine stabilere Bildsynchronisation, gleichzeitig werden aber auch die *Schneeflocken* im Bild viel gröber, so daß man kaum eine Empfangsverbesserung erreicht. Daraus geht hervor, daß ein Antennenverstärker nur dann eine merkliche Verbesserung der Bildqualität bringt, wenn er vor ein veraltetes Fernsehgerät gesetzt wird, dessen Eingangsröhre viel stärker als der Eingangstransistor des Antennenverstärkers rauscht, oder wenn man den Antennenverstärker unmittelbar am Antennenfußpunkt vor der Antennenenergieleitung anbringt. Dieser zuletztgenannte Fall

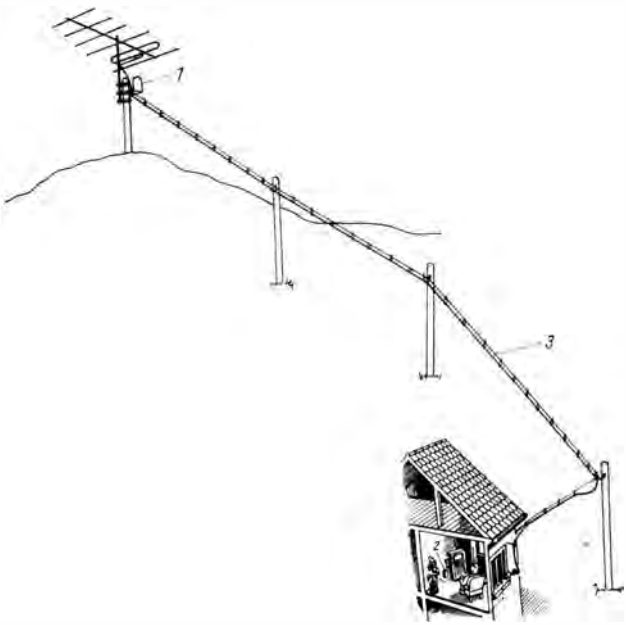


Bild 7.1 Abgesetzte Antenne mit Antennenmastverstärker; 1 — Mastverstärker, 2 — Speisegerät für Mastverstärker, 3 — Koaxialkabel, am Spanndraht befestigt

ist im nächsten Absatz eingehender behandelt. Ein Antennenverstärker eignet sich weiterhin dazu, die Empfindlichkeit ausgesprochener Fernseh-Nahempfänger zu vergrößern.

Die ideale Einsatzmöglichkeit für Antennenverstärker ist gegeben, wenn große Kabelverluste durch eine sehr lange Speiseleitung auftreten. Das kann häufig bei abgesetzt errichteten Antennen der Fall sein. Ein Beispiel dafür ist in Bild 7.1 skizziert. Der Fernsehteilnehmer wohnt an einem senderabgewandten Berghang; eine Empfangsmöglichkeit ergibt sich von dort aus nicht. Auf einem 150 m entfernten Berggrat herrschen dagegen gute Empfangsbedingungen, und am Fußpunkt einer dort errichteten Antenne mögen 500 μV Nutzspannung zur Verfügung stehen. Leider treten in der 150 m langen Antennenzuführung erhebliche Leitungsverluste auf. Wird als Speiseleitung beispielsweise ein Koaxialkabel Typ 75-5-A verwendet, so kann man aus Tabelle 3.3., Teil I, für eine Frequenz von 200 MHz eine Dämpfung von 11 dB je 100 m ersehen. Somit beträgt die Leitungsdämpfung für 150 m Länge 16,5 dB, und von den 500 μV an der Antenne würden nur noch etwa 75 μV am Empfängereingang vorhanden sein. Ein handelsüblicher Antennenverstärker hat eine Verstärkung von 20 dB. Er könnte demnach nicht nur die Kabelverluste ausgleichen, sondern bringt darüber hinaus noch eine Verstärkung von 3,5 dB (20 dB − 16,5 dB = 3,5 dB). Am Eingang des Empfängers würde somit eine Spannung von 748 μV zur Verfügung stehen.

Ein Antennenverstärker soll immer in unmittelbarer Nähe der Antenne angebracht werden, da sich hierbei ein günstigeres Signal/Rausch-Verhältnis als bei einer Verstärkung am Kabelende ergibt. Den Beweis dafür kann man aus dem vorherigen Beispiel ableiten. Angenommen, das Eingangsrauschen des Antennenverstärkers entspräche einer Rauschspannung von 5 μV am Verstärkereingang. Schaltet man nun den Antennenverstärker am empfängerseitigen Kabelende an, so sind dort — bedingt durch die Kabelverluste von 16,5 dB — nur noch 75 μV Nutzspannung vorhanden. Der Signal/Rausch-Abstand beträgt in diesem Fall 75 : 5 = 15 : 1 = 23,5 dB. An diesem Verhältnis ändert sich auch am Verstärkerausgang nichts, denn sowohl die Nutzspannung als auch die Rauschspannung werden auf den zehnfachen Wert (= 20 dB) verstärkt. Das ergibt 750 μV Nutzspannung und 50 μV Rauschspannung am Eingang des Fernsehempfängers. Schaltet

man den Antennenverstärker dagegen direkt an die Antenne an, so erhält er die volle Antennenspannung von 500 μV, der eine Eingangsrauschspannung von 5 μV gegenübersteht. Der Rauschabstand beträgt hier 500:5 = 100:1 = 40 dB. Dieser große Rauschabstand bleibt auch nach Verstärkung und Kabeldämpfung erhalten, so daß am Eingang des Fernsehempfängers ebenfalls 750 μV Nutzspannung, jedoch nur 7,5 μV Rauschspannung vorhanden sind.

Antennenverstärker werden außerdem gebraucht, wenn mehrere Teilnehmer an eine gemeinsame Antennenanlage angeschlossen werden sollen. In diesem Fall hat der Antennenverstärker die Aufgabe, die Verteilungsverluste auszugleichen. Solche kleinen Gemeinschaftsantennenanlagen tragen dazu bei, die unschönen „Antennenwälder" auf den Hausdächern zu verringern; sie sind außerdem wirtschaftlicher als mehrere Einzelanlagen, und der Energieverbrauch (< 5 W) fällt auch bei Dauerbetrieb nicht ins Gewicht (s. Abschnitt 8.1.2.).

Grundsätzlich muß bereits am Antennenspeisepunkt eine bestimmte Mindest-Nutzspannung vorhanden sein, die ein ausreichendes Signal/Rausch-Verhältnis gewährleistet. Ist diese Mindest-Nutzspannung nicht vorhanden, so kann sie nur durch ein Verbessern der Antenne selbst erreicht werden. Manchmal genügt schon eine Antenne mit größerem Gewinn. In schwierigen Empfangsanlagen kann ein günstigerer Antennenstandort den gewünschten Erfolg bringen. Befindet sich dieser günstigere Antennenaufbauort in einiger Entfernung, so können die dabei auftretenden Verluste im Zuführungskabel durch einen Antennenverstärker ohne Verschlechterung des Signal/Rausch-Verhältnisses ausgeglichen werden. Wie bereits ausgeführt, muß sich dann der Antennenverstärker in unmittelbarer Nähe der Antenne befinden; die erforderliche Speisespannung erhält der Verstärker über das Koaxialkabel, wobei sich das Netzteil im Wohnraum befindet.

Für eine völlig rauschfreie Bildwiedergabe wird eine Nutzspangung gefordert, die um etwa 40 dB über der Rauschspannung liegt (Verhältnis 100:1). Bei einem Rauschabstand von 30 dB (= 31,6:1) kann die Bildqualität noch als brauchbar bezeichnet werden. Fällt der Rauschabstand unter 20 dB (= 10:1), so ist das Bild stark verrauscht und genügt nur noch bescheidensten Ansprüchen.

Vom Selbstbau eines Antennenverstärkers muß abgeraten werden, insbesondere von sogenannten Breitbandverstärkern, die ohne Selektionsmittel im Eingang das ganze Frequenzspektrum von der Kurzwelle bis zum UHF-Bereich verstärken. Sie werden meistens durch starke Signale anderer Funkdienste so übersteuert, daß der Fernsehempfang durch Kreuzmodulation und Intermodulation gestört ist. Es kommt auch vor, daß Antennenverstärker bei unsachgemäßem Aufbau in Selbsterregung geraten und dann für die Umgebung als Störsender wirken. Abgesehen davon, daß beim Bau von Antennenverstärkern bestimmte elektrische Sicherheitsvorschriften einzuhalten sind, stehen auch dem Funkfachmann nur selten geeignete Meßeinrichtungen zur Verfügung, mit denen der Verstärker optimal abgeglichen werden kann.

Im Fachhandel gibt es ein breites Angebot von Antennenverstärkern, die allen einschlägigen Vorschriften entsprechen. Es handelt sich dabei um Kanalverstärker, Bereichsverstärker und Mehrbereichsverstärker, die alle eine durchschnittliche Verstärkung von 20 dB aufweisen. Alle Antennenverstärker haben ausgangsseitig einen Koaxialkabelanschluß (60/75 Ω), die Eingänge können wahlweise mit Koaxialkabel oder mit Bandleitung (240/300 Ω) belegt werden. Ausführlichere Angaben über Antennenverstärker folgen in Abschnitt 8.1.2.

Abgesetzte Antennen sollten unbedingt über Koaxialkabel angeschlossen werden. UKW-Bandleitungen eignen sich nicht, da sie alterungsunbeständig sind und ihre Dämpfung unter dem Einfluß der Witterung sehr ansteigt. Außerdem sind sie umgebungsempfindlich, und sie können — da ungeschirmt — selbst Störungen aufnehmen. Waagerecht geführte Koaxialkabel befestigt man zweckmäßig an einem Spanndraht mit passenden Spanndrahtklemmen.

Gelegentlich kommt es vor, daß eine Antennenanlage, die dem Empfänger bisher eine ausreichende Nutzspannung zuführte, plötzlich ein verrauschtes Bild liefert. In solchen Fällen sind mechanische Fehler an der Antennenanlage zu vermuten. Es ist z. B. möglich, daß sich die Antenne durch starken Wind aus der Richtung gedreht hat. Erfahrungsgemäß kann sich dabei auch das Standrohr der Antenne selbst drehen, wenn die Halteschrauben der Schellen nicht fest genug angezogen waren oder — wie teilweise beobachtet wird — diese Schrauben mit dem Hammer in das

Gebälk getrieben wurden. Bei unsachgemäßer Montage des Antennenkabels können auch Drahtbrüche — besonders an den Klemmstellen — vorkommen. Manche Koaxialkabel sind nicht längswasserdicht; ist Regenwasser in das Kabelinnere eingedrungen, so wird das Kabel unbrauchbar. Solche Antennenkabel lassen sich auch durch Austrocknen nicht mehr retten; sie sind schrottreif!

7.2. Zu große Eingangsspannung

In manchen Fällen wird dem Empfängereingang eine zu große Nutzspannung zugeführt. Das geschieht vorwiegend in der Nachbarschaft starker Fernsehsender. Die Folge ist eine Übersteuerung der Empfängereingangsstufe, die sich in einem verringerten Bildkontrast sowie durch das Auftreten von Intermodulationsstörungen zwischen Bild- und Tonträger äußert. Intermodulationsstörungen werden in Form von horizontalen Streifen auf dem Bildschirm sichtbar, die sich im Rhythmus der Tonmodulation bewegen („Ton im Bild"). Außerdem kann durch die Übersteuerung ein Abschneiden der Synchronimpulse auftreten, so daß sich das Bild nicht mehr oder nur schwer einfangen läßt.
Mit Sicherheit werden solche Störungen nur unterbunden, wenn die Eingangsspannung des Fernsehempfängers 20 mV (20 mV = 20000 μV) nicht übersteigt.
Es mag hin und wieder möglich sein, die zu hohe Eingangsspannung durch eine Antenne ohne Gewinn — etwa einen einfachen Faltdipol oder eine Zimmerantenne — auf einen brauchbaren Wert herabzusetzen. Im allgemeinen treten aber in Gebieten sehr großer Feldstärken auch starke Reflexionen auf. Diese sowie alle anderen Störspannungen werden gerade von sehr einfachen und damit wenig richtungsselektiven Antennen bevorzugt aufgenommen.
Viel günstiger und technisch einwandfreier ist die Methode, überschüssige Empfangsspannungen durch einfache Dämpfungsglieder zu vernichten. Wie bereits in Abschnitt 5.3.1.2., Ausblenden von Reflexionen, ausgeführt, werden dabei auch alle Störspannungen im gleichen Verhältnis wie die Nutzspannung gedämpft. Dämpfungsglieder — auch Abschwächer genannt — sind einfache Widerstandskombinationen, die sich für beliebige Dämp-

fungswerte dimensionieren lassen. Sie können an beliebiger Stelle zwischen Antenne und Empfängereingang eingeschleift werden, da sie den Wellenwiderstand der Leitung nicht verändern. Aus praktischen Gründen schaltet man Abschwächer meist unmittelbar vor den Empfängereingang. Da es sich um einfache Widerstandsnetzwerke handelt, sind Abschwächer auch weitestgehend frequenzunabhängig. Sie eignen sich gut für den Selbstbau.
In vielen Fällen sind frequenzabhängige (selektive) Dämpfungsglieder günstiger, z. B., wenn man nur den starken Ortssender abschwächen will, jedoch andere Fernsehsender ungedämpft aufnehmen möchte. Für diesen Zweck haben sich offene Viertelwellen-Stichleitungen als nahezu ideal erwiesen, da sich mit ihnen bei äußerst geringem Aufwand Dämpfungen bis etwa 35 dB erreichen lassen. Ihr Selbstbau und Einsatz werden in Abschnitt 7.2.2. beschrieben.

7.2.1. Frequenzunabhängige Dämpfungsglieder

Entsprechend ihrem Verwendungszweck unterscheidet man symmetrische und unsymmetrische Dämpfungsglieder. Symmetrische Abschwächer verwendet man in Anlagen, die mit symmetrischer 240/300-Ω-Bandleitung gespeist werden. Sinngemäß setzt man unsymmetrische Dämpfungsglieder ein, wenn unsymmetrisches 60/75-Ω-Koaxialkabel benutzt wird. Einfache Dämpfungsglieder sind nur für Abschwächungen bis etwa 20 dB (10:1) brauchbar. Werden größere Dämpfungswerte gewünscht, so sollte man mehrere entsprechend bemessene Abschwächer hintereinanderschalten. Die Dämpfungswerte der Einzelglieder in Dezibel addieren sich dann.
Dämpfungsglieder befinden sich auch im Angebot des Fachhandels. Sie sind in die üblichen Steckverbinder („Antennenstecker") eingebaut und in abgestuften Dämpfungswerten zwischen 10 dB und 30 dB lieferbar. Bei einer weiteren Ausführung kann man die Dämpfung zwischen 0,5 dB und 20 dB kontinuierlich einstellen.

7.2.1.1. Symmetrische Dämpfungsglieder

In Abhängigkeit von der Art der Zusammenschaltung unterscheidet man die T-Schaltung (Bild 7.2a) und die π-Schaltung

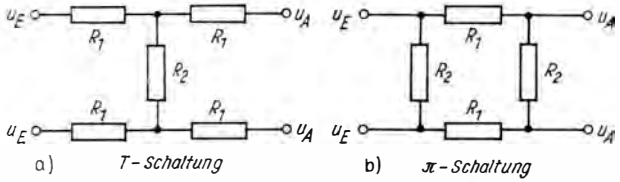


Bild 7.2 Symmetrische Dämpfungsglieder; a — T-Schaltung, b — π-Schaltung

(Bild 7.2b). In der Wirkung sind sie identisch; man wird jedoch die Schaltung bevorzugen, die bei dem gewünschten Abschwächungsgrad jeweils die gängigsten und handelsüblichen Widerstandswerte erfordert.

Die Berechnung der Einzelwiderstände ist aus dem *Kirchhoff*schen Gesetz abgeleitet. Für ein symmetrisches Dämpfungsglied in T-Schaltung ergeben sich die Widerstandswerte für R_1 und R_2 aus den Formeln

$$R_1 = \frac{Z\,(a-1)}{2\,(a+1)}\,, \tag{7.1.}$$

$$R_2 = \frac{2\,Z\,a}{a^2-1}\,; \tag{7.2.}$$

Z — Eingangs- und Ausgangswiderstand des Dämpfungsglieds in Ω,

a — Quotient aus Eingangs- und Ausgangsspannung (Abschwächungsverhältnis).

Beispiel

Am 240-Ω-Empfängereingang sind 5 mV Eingangsspannung vorhanden. Diese Spannung soll durch ein symmetrisches Dämpfungsglied in T-Schaltung auf 1 mV herabgesetzt werden. Der Abschwächungsquotient a ergibt sich aus dem Verhältnis Eingangsspannung/Ausgangsspannung = 5 : 1 = 5. Z ist mit 240 Ω vorgegeben.

$$R_1 = \frac{240\,\Omega \cdot (5-1)}{2 \cdot (5+1)} = \frac{960\,\Omega}{12} = 80\,\Omega\,,$$

$$R_2 = \frac{2 \cdot 240\,\Omega \cdot 5}{5^2-1} = \frac{2400\,\Omega}{24} = 100\,\Omega\,.$$

Tabelle 7.1. Symmetrische Dämpfungsglieder in T- und π-Schaltung nach Bild 7.2; Z = 240 Ω

Verhältnis in dB	a (= $U_E : U_A$)	T-Schaltung R_1/Ω	T-Schaltung R_2/Ω	π-Schaltung R_1/Ω	π-Schaltung R_2/Ω
2	1,259	13,8	1050	27,9	2093
4	1,585	27,1	504	57,3	1060
6	1,995	39,9	355	90	723
8	2,51	51,6	227,3	126,7	558
10	3,16	62,3	168,8	171	462
12	3,98	71,8	128,7	221,3	401
14	5,01	80	99,8	288,6	359,7
16	6,31	87,2	78	369	330,4
18	7,94	93,2	61,4	468,8	309,2
20	10	98,2	48,5	594	293,3

Für die Berechnung eines symmetrischen Dämpfungsglieds in π-Schaltung nach Bild 7.2b gelten die Formeln

$$R_1 = \frac{Z\,(a^2 - 1)}{4a}, \tag{7.3.}$$

$$R_2 = \frac{Z\,(a + 1)}{a - 1}. \tag{7.4.}$$

Tabelle 7.1. enthält die errechneten Werte der Längswiderstände R_1 und der Querwiderstände R_2 für symmetrische Abschwächer in T-Schaltung (Bild 7.2a) und in π-Schaltung (Bild 7.2b) bei einem Eingangs- und Ausgangswiderstand von 240 Ω. Das Abschwächungsverhältnis ist zusätzlich in Dezibel angegeben.

7.2.1.2. Unsymmetrische Dämpfungsglieder

Unsymmetrische Dämpfungsglieder verwendet man in Anlagen mt erdunsymmetrischem Aufbau. Das sind z. B. alle Antennen-. ainlagen, für die Koaxialkabel als Speiseleitung benutzt wird Auch hier unterscheidet man die T-Schaltung (Bild 7.3a) und die π-Schaltung (Bild 7.3b). Für die unsymmetrische T-Schaltung ergeben sich die Widerstandswerte von R_1 und R_2 aus den Formeln

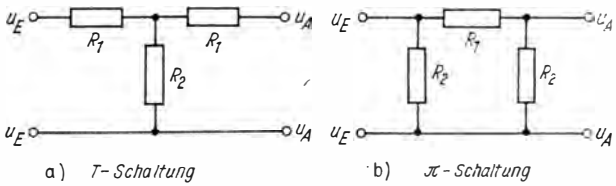


Bild 7.3 Unsymmetrische Dämpfungsglieder; a — T-Schaltung, b — π-Schaltung

$$R_1 = \frac{Z\,(a-1)}{a+1}, \tag{7.5.}$$

$$R_2 = \frac{2\,Z\,a}{a^2-1}. \tag{7.6.}$$

Die verwendeten Symbole haben die gleiche Bedeutung wie in den Formeln (7.1.) und (7.2.).

Für die Berechnung eines unsymmetrischen Dämpfungsglieds in π-Schaltung nach Bild 7.3b gelten die Formeln

$$R_1 = \frac{Z\,(a^2-1)}{2a}, \tag{7.7.}$$

$$R_2 = \frac{Z\,(a+1)}{a-1}. \tag{7.8.}$$

Tabelle 7.2. enthält die Widerstandswerte von R_1 und R_2 in unsymmetrischer T-Schaltung (Bild 7.3a) für Wellenwiderstände von 60 Ω und 75 Ω bei verschiedenen Dämpfungswerten bis zu 20 dB. Die gleichen Werte sind in Tabelle 7.3. für die unsymmetrische π-Schaltung (Bild 7.3b) aufgeführt.

Da die Dämpfungsglieder auch noch bei Frequenzen bis 600 MHz ihre Kennwerte einhalten müssen, werden an die zu verwendenden Widerstände und an den Aufbau einige Anforderungen gestellt. Ein Widerstand, der im Kurzwellenbereich durchaus noch als annähernd reiner Wirkwiderstand zu betrachten ist, kann bei den Frequenzen des Bereichs III bereits komplexen Charakter annehmen, d. h., der Ohmsche Widerstand (Nennwert) wird in Abhängigkeit von der Frequenz zusätzlich noch mit einem induktiven und einem kapazitivem Blindwiderstand beaufschlagt. Hinzu kommt ein ebenfalls mit der Frequenz wachsender Verlustwiderstand durch den Skineffekt.

Tabelle 7.2. Unsymmetrische Dämpfungsglieder in T-Schaltung nach Bild 7.3a; Z = 60 Ω und Z = 75 Ω

Verhältnis in dB	a (= $U_E : U_A$)	60 Ω $R_{1/\Omega}$	$R_{2/\Omega}$	75 Ω $R_{1/\Omega}$	$R_{2/\Omega}$
2	1,259	6,9	258	8,6	323
4	1,585	13,6	126	17	157
6	1,995	20	80,3	24,9	100,4
8	2,51	25,8	57	32,3	71
10	3,16	31,2	42,2	38,9	52,8
12	3,98	35,9	32,2	44,9	40,2
14	5,01	40	24,9	50	31,2
16	6,31	43,6	19,5	54,5	24,4
18	7,94	46,6	15,4	58,2	19,2
20	10	49,1	12,1	61,4	15,2

Tabelle 7.3. Unsymmetrische Dämpfungsglieder in π-Schaltung nach Bild 7.3b; Z = 60 Ω und Z = 75 Ω

Verhältnis in dB	a (= $U_E : U_A$)	60 Ω $R_{1/\Omega}$	$R_{2/\Omega}$	75 Ω $R_{1/\Omega}$	$R_{2/\Omega}$
2	1,259	13,9	523	17,4	654
4	1,585	28,6	265	35,8	331
6	1,995	44,8	181	56	226
8	2,51	63,4	140	79,2	174
10	3,16	85,3	115	106,6	144,4
12	3,98	112	100,3	139,8	125,3
14	5,01	144,3	90	180,4	112,4
16	6,31	184,5	82,6	230,7	103,2
18	7,94	234,4	77,3	293	96,6
20	10	297	73,3	371,3	91,7

Aber auch Schaltdrähte haben entsprechend ihrer Länge und Dicke induktive und kapazitive Blindwiderstände, die bei den hohen Frequenzen der Fernsehbereiche nicht mehr vernachlässigt werden dürfen.

Ohne auf die Theorie ausführlicher einzugehen, können für die Herstellung von Ohmschen Dämpfungsgliedern für die Fernsehbereiche folgende praktische Regeln gegeben werden:

— Man verwende Widerstände mit $^1/_4$, $^1/_8$ oder $^1/_{10}$ W Belastbarkeit. Drahtgewickelte Widerstände sind unbrauchbar.

Kappenlose Schichtwiderstände haben eine besonders geringe Eigenkapazität; am besten eignen sich UKW-Schichtwiderstände.

— Keinen Schaltdraht verwenden, möglichst nur mit den Widerständen selbst schalten. Jeder Zentimeter Draht bringt schädliche Induktivitäten und Kapazitäten in die Schaltung. Deshalb sollen auch die Zuleitungen zum Dämpfungsglied möglichst kurz gehalten werden.
— Kapazitätsarm aufbauen, d. h., die Widerstände dürfen sich gegenseitig nicht oder nur sehr wenig beeinflussen. Deshalb die Widerstände möglichst rechtwinklig zueinander anordnen.

7.2.2. Frequenzabhängige Dämpfungsglieder

Widerstandsnetzwerke als frequenzunabhängige Dämpfungsglieder haben die meist unerwünschte Eigenschaft, nicht nur das zu starke Signal, sondern den ganzen Empfangsbereich im gleichen Maß zu dämpfen. Wer auf den Empfang schwach einfallender Fernsehsender nicht verzichten will, kann daher keinen frequenzunabhängigen Abschwächer einsetzen, sondern muß ein selektives Dämpfungsglied verwenden.

Als frequenzabhängige Dämpfungsglieder kann man z. B. Sperrkreise und Saugkreise betrachten. Der Sperrkreis ist ein Parallelresonanzkreis, der die unerwünschte Frequenz sperrt, während der Saugkreis als Serienresonanzkreis die unerwünschte Frequenz ableitet (Leitkreis). Beim Rundfunkgerät verwendet man solche Resonanzkreise z. B. als Zwischenfrequenzsperren im Empfängereingang. Sie haben die Aufgabe, das Eindringen von Störsignalen in den Zwischenfrequenzverstärker zu verhindern. Nach dem gleichen Prinzip und mit den gleichen Mitteln kann man auch beim Fernsehempfänger verfahren, indem man einen Resonanzkreis vor den Empfängereingang schaltet, der auf die Frequenz des zu dämpfenden Sendersignals abgestimmt ist.

Bei einer Zwischenfrequenzsperre besteht der Resonanzkreis wegen der relativ niedrigen Frequenz aus konzentrierten Schaltelementen (Spulen und Kondensatoren). Bei den hohen Frequenzen der Fernsehbereiche ist es einfacher und wirkungsvoller, wenn solche Resonanzkreise als abgestimmte Leitungskreise ausgeführt werden.

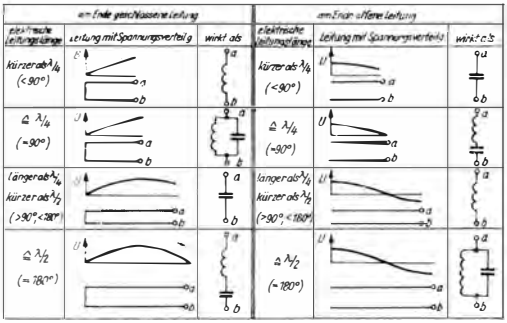


Bild 7.4 Abstimmverhalten von kurzgeschlossenen und offenen HF-Leitungen mit Längen bis $\lambda/2$

Leitungskreise bestehen z. B. aus 2 parallelgeführten Drähten, die an einem Ende offen oder auch kurzgeschlossen sind. Je nach ihrer elektrischen Länge — bezogen auf die Betriebswellenlänge — können sie als Serienresonanzkreis, Parallelresonanzkreis, Induktivität oder Kapazität wirken. In Bild 7.4 werden diese Zusammenhänge deutlich. Es ist daraus zu entnehmen, daß bei Leitungslängen von elektrisch $\lambda/4$ (und $\lambda/2$) Serienresonanz oder Parallelresonanz auftritt, abhängig davon, ob das Leitungsstück offen oder geschlossen ist. Diese Resonanzkreiseigenschaften widerholen sich außerdem in Viertelwellenabständen, wobei Serienresonanzkreis und Parallelresonanzkreis abwechselnd auftreten.

In Bild 7.5 werden die verschiedenen Schaltungs- und Ausführungsmöglichkeiten verglichen. Es ist daraus zu entnehmen, daß ein Parallelresonanzkreis für den gedachten Zweck aus mechanischen Gründen weniger geeignet wäre, weil man ihn in die Speiseleitung einfügen müßte, um Sperrkreiswirkung zu erzielen (Bild 7.5a). Viel praktischer ist der Serienresonanzkreis, der als Saugkreis wirkt, wenn man ihn dem Empfängereingang bzw. der Speiseleitung parallelschaltet (Bild 7.5b). Er wird nach Bild 7.4 durch ein offenes Viertelwellenstück dargestellt.

Je nach vorhandenem Empfängeranschluß bzw. verwendeter Speiseleitung wird man das Viertelwellenstück aus Koaxialkabel (Bild 7.5 b3) oder aus Bandleitung (Bild 7.5 b2) herstellen. In beiden Fällen wird die Speiseleitung nicht unterbrochen, und es ist von der elektrischen Seite her ohne Bedeutung, ob sich das

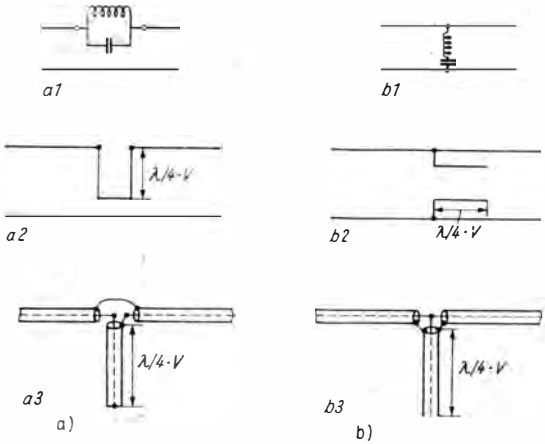


Bild 7.5 Schaltung von Resonanzkreisen als Sperr- und als Ableitglieder; a — Sperrkreise, b — Saugkreise; a1, b1 — mit konzentrierten Schaltelementen, a2, b2 — mit Paralleldraht-Leitungskreisen, a3, b3 — mit koaxialem Leitungskreis

Viertelwellenstück direkt parallel zum Empfängereingang oder zum Antennenspeisepunkt oder an beliebiger Stelle der Speiseleitung befindet. Aus praktischen Gründen wird man jedoch — zumindest bei UKW-Bandleitung — das Viertelwellenstück an den Antennenstecker anschließen. Dort ist es für den Feinabgleich gut zugänglich, es ist witterungsgeschützt, und es werden auch jene Strahlungsanteile gedämpft, die direkt in die Speiseleitung einstreuen.

Da es sich um eine abgestimmte Leitung handelt, muß bei der Längenbemessung L der Verkürzungsfaktor V des verwendeten Leitungstyps berücksichtigt werden:

$$L = \lambda/4 \cdot V \tag{7.9.}$$

oder

$$L/_{mm} = \frac{75\,000}{f/_{MHz}} \cdot V\,. \tag{7.10.}$$

Der Verkürzungsfaktor V von in der DDR handelsüblichen Leitungen kann den Tabellen 3.1. bis 3.3. (Teil I) entnommen werden. Um einen ausreichenden Abstimmspielraum zu haben, wird die

Viertelwellenleitung um einige Zentimeter länger als ausgerechnet bemessen. Nachdem sie an der vorgesehenen Stelle angeschlossen ist, kürzt man unter Beobachtung des Schirmbilds so lange durch Abschneiden von jeweils 3 bis 5 mm langen Stückchen, bis maximale Dämpfung eintritt bzw. bis der Empfängereingang nicht mehr übersteuert wird. Da diese Leitungskreise eine relativ hohe Güte aufweisen, erreicht man mit ihnen Dämpfungswerte von etwa 35 dB.

In Antennenanlagen, die mit Antennenverstärkern ausgerüstet sind, kommt es bei der Verwendung von Bereichsverstärkern häufig zur Übersteuerung des Antennenverstärkers durch einen im betreffenden Bereich sehr stark einfallenden Fernsehsender. Eine offene Viertelwellenleitung, die vor den Eingang des Antennenverstärkers oder direkt an die Antenne geschaltet wird, beseitigt auch solche Störungen. Ebenso können andere starke örtliche Sender, deren Ober- oder Nebenwellen in den Fernsehbereichen stören, wirksam unterdrückt werden, wenn die Störfrequenz annähernd bekannt ist. Gegen breitbandige Störungen, wie sie z. B. von Zündfunken und elektrischen Arbeitsgeräten verursacht werden können, sind solche frequenzselektiven Dämpfungsglieder unbrauchbar.

7.3. Mehrere Antennen an einer gemeinsamen Antennenableitung

Häufig besteht der Wunsch, mehrere Antennen gemeinsam an einer Antennenableitung zu betreiben. Das trifft meist dann zu, wenn sich neben der Fernsehantenne auch noch eine UKW-Rundfunkantenne auf dem Dach befindet oder wenn mit verschiedenen Außenantennen Fernsehempfang im Band I, Band III und Band IV/V möglich ist. Würde man die unterschiedlichen Antennen einfach einander parallelschalten, so wären starke Fehlanpassungen und damit Verluste sowie Reflexionsstörungen die Folge.

Man muß deshalb die verschiedenen Antennen elektrisch so voneinander trennen, daß keine gegenseitigen Rückwirkungen auftreten. Das geschieht durch Einfügen von Filteranordnungen oder Frequenzweichen, die nur bestimmte Frequenzbereiche durchlassen und alle außerhalb des Durchlaßbereichs liegenden Fre-

quenzen sperren. Es handelt sich dabei um Vierpole. Das sind Schaltungen, die 2 Eingangs- und 2 Ausgangsklemmen haben.

Frequenzweichen und Filter sind demnach Vierpole, die zur Übertragung hochfrequenter Energie dienen. Ihre Aufgabe ist es, diese Energie möglichst verlustlos zu übertragen; darum sollen die in ihnen enthaltenen Schaltelemente keine Wirkleistung verbrauchen. Dieser Forderung genügen Kapazitäten und Induktivitäten, die im Idealfall reine Blindwiderstände darstellen. Diesen Idealfall gibt es allerdings nur in der Theorie, da Spulen und Kondensatoren immer einen gewissen Verlustwiderstand haben. In der Praxis lassen sich jedoch die Ohmschen Verluste oft so klein halten, daß man sie vernachlässigen kann. Filteranordnungen werden deshalb ausschließlich aus Kapazitäten und Induktivitäten aufgebaut. Entsprechend dem Verwendungszweck sollen die in der Antennentechnik gebräuchlichen Grundfilterarten untersucht werden. Kennzeichnend für diese Filter sind ihre Durchlaß- und Sperrbereiche. Innerhalb des Durchlaßbereichs soll das Filter alle Frequenzen verlustlos übertragen, d. h., eine Hochfrequenzspannung U_e am Eingang des Vierpols muß an dessen Ausgang als U_a möglichst ungeschwächt wieder erscheinen ($U_e = U_a$). Dagegen darf das Filter innerhalb des Sperrbereichs keine oder nur sehr wenig Wirkleistung an den Verbraucher abgeben, d. h., den Frequenzen des Sperrbereichs soll der Weg zum Verbraucher versperrt werden ($U_a \gg U_e$). Der Übergang vom Durchlaßbereich zum Sperrbereich müßte im Idealfall sprunghaft sein. Da die Schaltelemente jedoch nicht verlustfrei sind, ist der Übergang mehr oder weniger steil. Die Frequenz, bei der der Übergang vom Sperrbereich zum Durchlaßbereich eintritt, nennt man kritische Frequenz oder Grenzfrequenz f_{gr}. Bei der kritischen Frequenz ist der induktive Widerstand gleich dem kapazitiven Widerstand des Filters. Da sich die Filteranordnungen im Zuge angepaßter Antennenableitungen befinden, darf diese Anpassung nicht gestört werden. Eingangs- und Ausgangswiderstand des Filters müssen deshalb gleich dem Wellenwiderstand der Antennenableitung sein. Gleichzeitig soll auch die bestehende Symmetrie gewahrt bleiben.

Entsprechend dem Verwendungszweck unterscheidet man folgende Grundfilterarten:

Tiefpaß,
Hochpaß,

Bandpaß,
Bandsperre.

Bei der Berechnung von Filtern ist von einigen prinzipiellen Gleichungen auszugehen, die in der gesamten Hochfrequenztechnik Bedeutung haben. Das sind:

Kreisfrequenz

$$\omega = 2\pi f = 6{,}28\, f\ ; \tag{7.11.}$$

$\pi = 3{,}14$, f — Frequenz;

Impedanz

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}\ ; \tag{7.12.}$$

L — Induktivität, C — Kapazität;

induktiver Widerstand

$$R_L = \omega L\ ; \tag{7.13.}$$

kapazitiver Widerstand

$$R_C = \frac{1}{\omega C}\ ; \tag{7.14.}$$

Resonanzbedingung

$$\omega_{gr} L = \frac{1}{\omega_{gr} C}\ ; \tag{7.15.}$$

Kreisgrenzfrequenz[2])

$$\omega_{gr} = 2\pi f_{gr}\ .$$

Aus diesen Grundgleichungen können durch Umstellen neue Gleichungen gebildet werden, die eine einfache Berechnung der Filteranordnungen ermöglichen.

[2] Der Ausdruck „Kreisgrenzfrequenz" ist physikalisch nicht exakt, da ein Schwingkreis nur eine Resonanzfrequenz, aber keine Grenzfrequenz hat. Sinnvoller wäre die Bezeichnung *Kreisfrequenz der Grenzfrequenz.*

7.3.1. Tiefpaß

Ein Tiefpaß hat die Eigenschaft, von einer bestimmten Grenzfrequenz f_{gr} ab alle tiefer liegenden Frequenzen passieren zu lassen (Durchlaßbereich); alle höheren Frequenzen werden gesperrt (Sperrbereich).

In seiner einfachsten Form als unsymmetrisches Halbglied besteht der Tiefpaß nach Bild 7.6a aus einer Längsinduktivität L und einer Querkapazität C. Die Sperrwirkung von Halbgliedern ist jedoch meist zu gering. Deshalb bevorzugt man das sogenannte Vollglied, das in Bild 7.6b als unsymmetrische Schaltung dargestellt wurde. Wird es z. B. für eine Impedanz Z von 75 Ω bemessen, so eignet es sich für eine Antennenableitung, die aus 75-Ω-Koaxialkabel besteht (Eingangsimpedanz Z_e = Ausgangsimpedanz Z_a = Wellenwiderstand Z der Antennenableitung). Als dritte Variante zeigt Bild 7.6c ein symmetrisches Vollglied, das bei symmetrischen Antennenableitungen (z. B. UKW-Bandleitung) Verwendung findet. Für die Berechnung eines Tiefpaß-Halbglieds werden folgende aus Gl. (7.12.) bis Gl. (7.15.) abgeleitete Gleichungen benötigt:

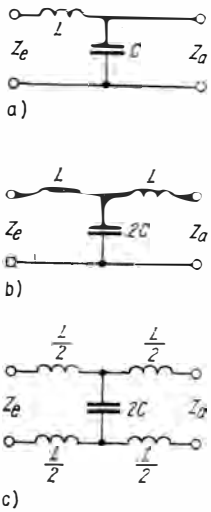


Bild 7.6
Tiefpässe; a — unsymmetrisches Halbglied, b — unsymmetrisches Vollglied, c — symmetrisches Vollglied

Induktivität

$$L = \frac{Z}{\omega_{gr}}; \tag{7.16.}$$

Kapazität

$$C = \frac{1}{\omega_{gr} \cdot Z}. \tag{7.17.}$$

Beispiel

Es wird ein Tiefpaß benötigt, der ab $f_{gr} = 140$ MHz alle Frequenzen sperrt und die tiefer liegenden Frequenzen durchläßt. Es handelt sich um ein unsymmetrisches Vollglied nach Bild 7.6b mit einer Impedanz von 75 Ω.
Die Kreisfrequenz ω_{gr} für 140 MHz beträgt nach Gl. (7.11.) $\omega_{gr} = 6{,}28 \cdot 140 \cdot 10^6$ Hz $= 8{,}792 \cdot 10^8$ Hz,

$$L = \frac{75 \text{ Vs}}{8{,}792 \cdot 10 \text{ A}} = 0{,}085 \cdot 10^{-6} \text{ H} = 0{,}085 \,\mu\text{H},$$

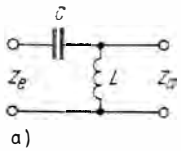
$$C = \frac{1 \text{ As}}{8{,}792 \cdot 75 \cdot 10^8 \text{ V}} = 15 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 15 \text{ pF}.$$

7.3.2. Hochpaß

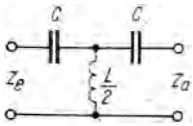
Ein Hochpaß hat die Eigenschaft, von einer bestimmten Grenzfrequenz f_{gr} ab alle höheren Frequenzen durchzulassen. Alle Frequenzen, die niedriger als die Grenzfrequenz f_{gr} sind, werden gesperrt. Der Schaltungsunterschied zum Tiefpaß besteht darin, daß beim Hochpaß die Kapazität im Längsweg und die Induktivität im Querweg liegt (Bild 7.7). Die beim Tiefpaß angegebenen Berechnungsgleichungen (7.16.) für L und (7.17.) für C haben auch für den Hochpaß Gültigkeit.

Beispiel

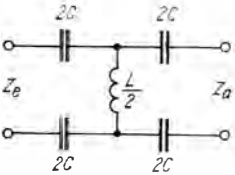
Es ist ein symmetrischer Vollglied-Hochpaß zu berechnen, dessen Grenzfrequenz $f_{gr} = 140$ MHz beträgt. $Z = 240\,\Omega$ (Schaltung Bild 7.7c).
Die Kreisgrenzfrequenz ω_{gr} für 140 MHz beträgt nach Gl. (7.11.) $\omega_{gr} = 6{,}28 \cdot 140 \cdot 10^6$ Hz $= 8{,}792 \cdot 10^8$ Hz,



a)



b)



c)

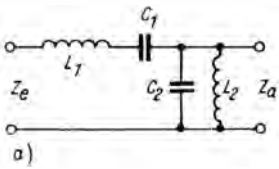
Bild 7.7
Hochpässe; a — unsymmetrisches Halbglied, b — unsymmetrisches Vollglied, c — symmetrisches Vollglied

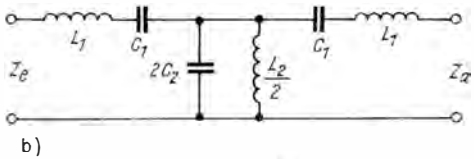
$$L = \frac{240\ \text{Vs}}{8{,}792 \cdot 10^8\ \text{A}} = 0{,}273 \cdot 10^{-6}\ \text{H} = 0{,}273\ \mu\text{H}\,,$$

$$C = \frac{1\ \text{As}}{8{,}792 \cdot 240 \cdot 10^8\ \text{V}} = 4{,}7 \cdot 10^{-12}\ \text{F} = 4{,}7\ \text{pF}\,.$$

7.3.3. Bandpaß

Wie schon der Name sagt, ist der Bandpaß für ein bestimmtes Frequenzband durchlässig. Dieser Durchlaßbereich wird durch die definierten Frequenzen f_h (höchste Frequenz) und f_t (tiefste Frequenz) begrenzt. Alle Frequenzen, die höher als f_h und tiefer als f_t liegen, werden gesperrt.
Wie Bild 7.8 zeigt, besteht ein Bandpaß aus Serienresonanzkreisen im Längsweg ($L_1 - C_1$) und aus einem Parallelresonanz-





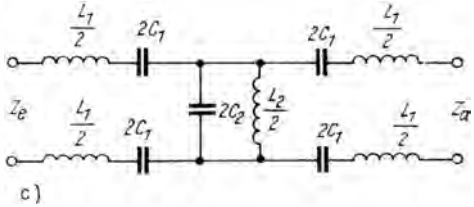


Bild 7.8 Bandpässe: a — unsymmetrisches Halbglied, b — unsymmetrisches Vollglied, c — symmetrisches Vollglied

kreis im Querweg ($L_2 - C_2$). Zur Berechnung eines Bandpasses müssen aus der oberen Grenzfrequenz f_h und aus der unteren Grenzfrequenz f_t die Kreisgrenzfrequenz ω_h und ω_t nach Gl. (7.11.) errechnet werden. Aus f_h und f_t wird außerdem die mittlere Resonanzfrequenz f_m (Durchlaßbereichsmitte) ermittelt und daraus die mittlere Kreisresonanzfrequenz ω_m nach Gl. (7.11.) gebildet. Liegen die Werte für ω_h, ω_t und ω_m fest, so können die Dimensionen für die Bauelemente nach folgenden Gleichungen errechnet werden:

$$L_1 = \frac{Z}{(\omega_h - \omega_t)}, \qquad (7.18.)$$

$$L_2 = \frac{Z\,(\omega_h - \omega_t)}{\omega_m^2}\,, \tag{7.19.}$$

$$C_1 = \frac{(\omega_h - \omega_t)}{\omega_m^2\,Z}\,, \tag{7.20.}$$

$$C_2 = \frac{1}{Z\,(\omega_h - \omega_t)}\,. \tag{7.21.}$$

Beispiel

Es soll ein Bandpaß berechnet werden, der einen Durchlaßbereich von 70 MHz (f_t) bis 130 MHz (f_h) hat. Dabei ist ein symmetrisches Vollglied nach Bild 7.8c aufzubauen; Z beträgt 240 Ω. Kreisfrequenzen nach Gl. (7.11.):

$$\omega_h = 6{,}28 \cdot 130 \cdot 10^6 = 8{,}164 \cdot 10^8 \text{ Hz}\,,$$
$$\omega_t = 6{,}28 \cdot \ 70 \cdot 10^6 = 4{,}396 \cdot 10^8 \text{ Hz}\,,$$
$$\omega_m = 6{,}28 \cdot 100 \cdot 10^6 = 6{,}28 \ \cdot 10^8 \text{ Hz}\,.$$

$$L_1 = \frac{240 \text{ Vs}}{(8{,}164 - 4{,}396) \cdot 10^8 \text{ A}} = 0{,}637 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$
$$= 0{,}637\ \mu\text{H}\,,$$

$$L_2 = \frac{240 \cdot (8{,}164 - 4{,}396) \cdot 10^8 \text{ Vs}}{6{,}28^2 \cdot 10^{16} \text{ A}} = 0{,}23 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$
$$= 0{,}23\ \mu\text{H}\,.$$

$$C_1 = \frac{(8{,}164 - 4{,}396) \cdot 10^8 \text{ As}}{6{,}28^2 \cdot 10^{16} \cdot 240 \text{ V}} = 4{,}0 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$
$$= 4{,}0 \text{ pF}\,,$$

$$C_2 = \frac{1 \text{ As}}{240 \cdot (8{,}164 - 4{,}396) \cdot 10^8 \text{ V}} = 11 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$
$$= 11 \text{ pF}\,.$$

Daraus ergeben sich nach Bild 7.8c folgende Einzelwerte für die Bauelemente:

$$\frac{L_1}{2} = 0{,}319\ \mu\text{H}\,, \quad \frac{L_2}{2} = 0{,}115\ \mu\text{H}\,, \quad 2C_1 = 8 \text{ pF}\,,$$
$$2C_2 = 22 \text{ pF}\,.$$

7.3.4. Bandsperre

Eine Bandsperre hat einen Sperrbereich, der alle Frequenzen innerhalb der Grenzen f_h und f_t sperrt. Alle oberhalb von f_h und unterhalb von f_t liegenden Frequenzen werden durchgelassen. Nach Bild 7.9 hat eine Bandsperre in ihrem Längsweg Parallelresonanzkreise; der Querweg wird durch einen Serienresonanzkreis gebildet.

Die Bestimmungsgleichungen für die Bauelemente einer Band-

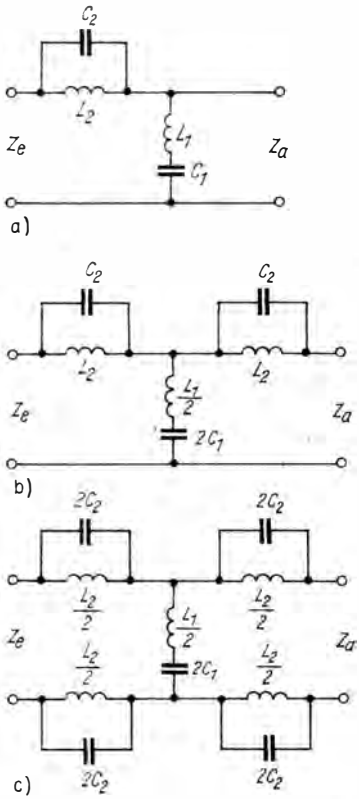


Bild 7.9 Bandsperren; a — unsymmetrisches Halbglied, b — unsymmetrisches Vollglied, c — symmetrisches Vollglied

sperre sind die gleichen wie die des Bandpasses — Gl. (7.18.) bis Gl. (7.21.). Ebenso setzt man auch ω_h, ω_t und ω_m ein. Der Berechnungsvorgang weist demnach keinerlei Unterschiede gegenüber dem des Bandpasses auf. Lediglich durch die Schaltungsanordnung der Serien- und Parallelresonanzkreise wird aus dem Durchlaßbereich ein Sperrbereich und umgekehrt.

7.3.5. Frequenzweichen

Geeignete Kombinationen von Grundfiltern werden als Frequenzweichen bezeichnet. Nicht nur in der Antennentechnik, sondern auch in der gesamten Fernmeldetechnik haben Frequenzweichen eine große Bedeutung, da sie die Mehrfachausnutzung von Leitungswegen ermöglichen.
In der Technik der Gemeinschaftsantennenanlagen werden die 4 Grundfilterarten Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß und Bandsperre angewendet. Im allgemeinen sollen Zusammenschaltungen von Empfangsantennen für die Frequenzbereiche Band I, Band II (UKW-Rundfunk), Band III und Band IV/V vorgenommen werden. Entsprechend den Bandgrenzen sind die Grenzfrequenzen für die verschiedenen Filteranordnungen zu wählen. Wie schon erwähnt, geht aber der Umschlag vom Durchlaßbereich zum Sperrbereich eines Filters nicht übergangslos vor sich, so daß die Filterwirkung bei der Grenzfrequenz noch nicht voll eintritt. Es ist deshalb üblich, die Grenzfrequenzen für Filter etwa 20% außerhalb des zu sperrenden bzw. zu übertragenden Bereichs festzulegen. So wird man z. B. die Grenzfrequenz eines Hochpasses für Band III (174 bis 230 MHz) nicht für den Bandanfang 174 MHz, sondern um etwa 20% niedriger für 135 MHz bemessen.
Verlustarm aufgebaute Grundfilter haben eine geringe Durchlaßdämpfung in der Größenordnung 1 dB. Darum wird die Nutzspannung nur unwesentlich gedämpft. Die angegebene Impedanz der Frequenzweichen ist nur innerhalb des genutzten Bereichs annähernd vorhanden. Deshalb hat z. B. ein Tiefpaß für $f_{gr} = 135$ MHz nur für Frequenzen < 135 MHz die Sollimpedanz; sein Blindwiderstand für Frequenzen > 135 MHz ist sehr hoch. Das gilt sinngemäß auch für den Hochpaß, den Bandpaß und die Bandsperre. Daraus ist zu erkennen, daß sich bei der Parallelschaltung zweier Grundfilter (z. B. eines Hochpasses und eines

Tiefpasses) die Impedanz der Filter nur unwesentlich verändert, denn bei jedem Filter liegt der frequenzbedingte hohe Blindwiderstand des anderen Filters parallel zur Sollimpedanz. Der resultierende Widerstand dieser Parallelschaltung wird im wesentlichen von dem kleinsten Widerstand — der Sollimpedanz — bestimmt. Die Impedanzänderung ist deshalb so gering, daß sie vernachlässigt werden kann. Alle Grundfilter lassen sich direkt am Antennenfußpunkt oder auch an einer beliebigen Stelle der Ableitung einschleifen, sofern ihre Impedanz dem Fußpunktwiderstand der Antenne bzw. dem Wellenwiderstand der Antennenableitung entspricht. Aus praktischen Gründen wird man die Montage der Antennenweichen unter der Dachhaut bevorzugen, da sie dort vor Witterungseinflüssen geschützt sind. Selbsthergestellte Antennenweichen können leicht in einer kleinen Feuchtraumdose untergebracht werden und eignen sich dann auch für eine Montage im Freien.

7.3.5.1. Selbstherstellung von Frequenzweichen

Es ist nicht allzu schwierig und auch wenig kostspielig, Antennenweichen für kleinere Antennenanlagen selbst herzustellen. Natürlich kann ein Amateur kaum die Güte und Präzision industriell gefertigter Erzeugnisse erreichen, da ihm hierzu meist die meßtechnischen Voraussetzungen fehlen. Wenn jedoch einige Grundsätze beachtet werden, können brauchbare Frequenzweichen auch im Selbstbau entstehen. Die Beschaffung der erforderlichen Kondensatoren dürfte nicht schwierig sein. Nicht handelsübliche „krumme" Werte können durch Parallel- oder Serienschaltung passender Kapazitäten hergestellt werden. Es kommen ausschließlich induktionsarme keramische Kondensatoren mit kleinem negativem Temperaturkoeffizienten in Frage, Rollblocks sind ungeeignet. Etwas Kopfzerbrechen bereitet das Herstellen der erforderlichen Induktivitäten in der Größenordnung von 0,015 bis 0,5 μH, denn Meßeinrichtungen für diese kleinen Induktivitäten dürften auch bei gut ausgerüsteten Bastlern kaum vorhanden sein.

Ohne langwierige Berechnungen kommt man zum Ziel, wenn vorgegebene Spulendurchmesser d und Spulenlänge l zugrunde gelegt werden. Spulendurchmesser von 7 mm oder 10 mm sind

gut geeignet. Für die Induktivitäten von 16 bis 100 nH (1 μH = 1000 nH — Nanohenry) wählt man eine Spulenlänge l von 14 mm, während die Spulen mit 100 bis 478 nH über eine Länge l von 21 mm gewickelt werden. Unter diesen Voraussetzungen erhält man die Windungszahl n der Spule aus nachstehenden Näherungsformeln.

Spulendurchmesser d = 7 mm, Spulenlänge l = 14 mm,

$$n = \sqrt{\frac{L}{2{,}8}}; \tag{7.22.}$$

Spulendurchmesser d = 10 mm, Spulenlänge l = 14 mm,

$$n = \sqrt{\frac{L}{5{,}3}}; \tag{7.23.}$$

Spulendurchmesser d = 7 mm, Spulenlänge l = 21 mm,

$$n = \sqrt{\frac{L}{1{,}96}}; \tag{7.24.}$$

Spulendurchmesser d = 10 mm, Spulenlänge l = 21 mm,

$$n = \sqrt{\frac{L}{4}}; \tag{7.25.}$$

die Induktivität L ist jeweils in Nanohenry (nH) einzusetzen. Die Windungen sind über die angegebene Spulenlänge l (14 mm bzw. 21 mm) zu verteilen. Besonders verlustarme Spulen entstehen aus versilbertem Kupferdraht mit etwa 1 mm Stärke. Polystyrolkörper können als Spulenträger verwendet werden, hochwertiger sind jedoch freitragende Luftspulen. Man wickelt sie über einen passenden Dorn und montiert sie später zwischen keramischen Stützpunkten.

Mit einem geeichten Resonanzmesser (Griddipper) mit UKW-Bereich läßt sich die Induktivität der Spulen überprüfen. Dabei schaltet man die zu messende Spule mit einem eng tolerierten Keramikkondensator (z. B. 10 pF) zu einem Parallelresonanzkreis zusammen und mißt dann die Resonanzfrequenz dieses Schwingkreises mit dem Grid-Dip-Meter. Aus der Resonanzfrequenz f und der bekannten Kapazität C läßt sich nun die gesuchte Induktivität L errechnen. Man benutzt dafür die *Thomson*sche Gleichung oder die in vielen Lehrbüchern veröffentlichten Nomogramme zur Ermittlung von Schwingkreisdaten.

Notwendige Korrekturen der Induktivität werden durch Zusammendrücken (größere Induktivität) oder Auseinanderziehen (kleinere Induktivität) der Windungen hergestellt.
Beim Aufbau der Frequenzweichen muß möglichst mit den Bauelementen selbst geschaltet werden. In jedem Fall ist kürzeste Leitungsführung anzustreben, da alle Leitungen zusätzliche Induktivitäten und Kapazitäten in die Schaltung bringen. Gleichzeitig müssen aber auch die Spulen so angeordnet sein, daß sie sich gegenseitig wenig beeinflussen. Das erreicht man, wenn die Spulenachsen um 90° gegeneinander versetzt, in einer Ebene aufgebaut werden. Besonders wichtig ist, daß die Spulen zweier benachbarter Grundfilter (z. B. ein Hochpaß und ein Tiefpaß) nicht miteinander koppeln können.

7.3.5.2. Frequenzweichen im Angebot des Fachhandels

Frequenzweichen sind als Antennenweichen und als Empfängerweichen im Angebot des Fachhandels. Man braucht sie, um mehrere Antennen auf eine gemeinsame Antennenableitung schalten zu können (Antennenweichen) und wenn am Ende dieser Stammleitung die Bereiche VHF und UHF entsprechend den vorhandenen Empfängereingängen wieder aufgetrennt werden müssen (Empfängerweichen). Mit dieser Methode der Antennenableitung wird Kabel eingespart, das lästige Umstecken an den Empfängereingängen entfällt, und der Aufbau der Antennenanlage wird einfacher und übersichtlicher.

Empfängerweichen
Die meisten Fernsehempfänger haben noch getrennte Eingänge für VHF und für UHF. Es muß somit durch die Empfängerweiche in diese Bereiche aufgetrennt werden, was sich mit einem unsymmetrischen Tiefpaß-Vollglied nach Bild 7.6b für VHF und einem Hochpaß-Vollglied nach Bild 7.7b für UHF verwirklichen läßt. Die Industrie fertigt solche Empfängerweichen in gedruckter Schaltungstechnik, wobei die Induktivitäten und Kapazitäten durch Leitungszüge realisiert sind. Der Anschluß der Antennenableitung ist klemmbar (keine Lötarbeit). Ausgangsseitig sind die Empfängerweichen mit 2 Leitungsstücken versehen, an deren Enden sich die zu den Empfängereingängen passenden Steck-

Tabelle 7.4. Empfängerweichen des *VEB Funkwerkstätten Bernburg*

Antennenableitung	Ausgänge VHF	Ausgänge UHF	Stecker nach Bild 4.6 VHF	Stecker nach Bild 4.6 UHF	Durchgangsdämpfung VHF	Durchgangsdämpfung UHF	Bestell-Nr.
75 Ω	75 Ω	75 Ω	E	E	≦ 0,5 dB	≦ 1,0 dB	3012.01
75 Ω	300 Ω	75 Ω	A	E	≦ 1,0 dB	≦ 1,0 dB	3012.02
75 Ω	300 Ω	300 Ω	C	D	≦ 1,0 dB	≦ 1,5 dB	3012.03
300 Ω	300 Ω	300 Ω	C	D	≦ 1,0 dB	≦ 1,5 dB	3012.04
300 Ω	300 Ω	75 Ω	A	E	≦ 1,0 dB	≦ 2,0 dB	3012.05
300 Ω	75 Ω	75 Ω	E	E	≦ 1,5 dB	≦ 2,0 dB	3012.06

verbinder befinden. In Tabelle 7.4. werden die Daten der vom *VEB Funkwerkstätten Bernburg* hergestellten Empfängerweichen aufgeführt.

Neuerdings werden die Empfängerweichen bereits in den Empfängereingang des Geräts eingebaut, so daß nur noch ein Antennenanschluß vorhanden ist. Geübten Funkbastlern dürfte eine entsprechende Nachrüstung älterer Fernsehgeräte unter Verwendung des passenden Empfängerweicheneinsatzes möglich sein.

Häufig wird eine UKW-Rundfunkantenne mit in die Fernseh-Antennenanlage einbezogen, so daß empfängerseitig eine Auftrennung zwischen UKW-Rundfunk (Band II) und Fernsehen vorgenommen werden muß. Für diesen Anwendungsfall sind die in Tabelle 7.4. aufgeführten Empfängerweichen nicht brauchbar. Es muß dann entweder eine Antennenweiche *3008.15* eingesetzt werden, die sich auch als Universal-Empfängerweiche eignet, oder eine Antennenweiche *3001.00* (s. Tabelle 7.5.).

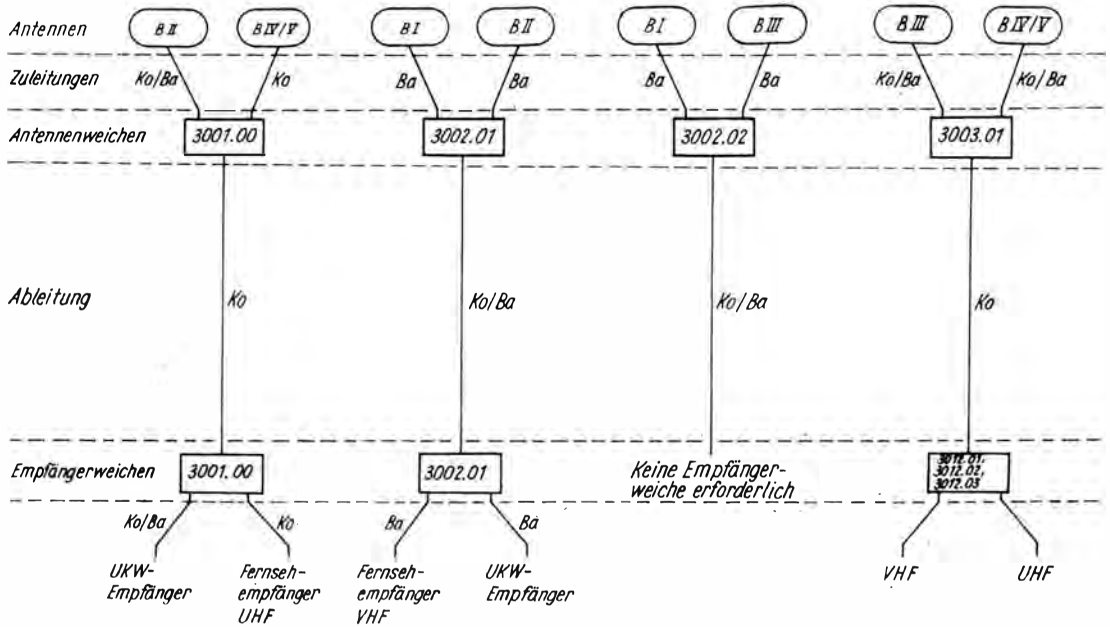
Antennenweichen

Antennenweichen werden in großer Auswahl für alle in der Praxis vorkommenden Anwendungsfälle angeboten. Durch mitgelieferte Schellen können sie am Antennenmast befestigt werden; die Montage an einer Wand ist ebenfalls möglich.

Alle Weichen, die in den Datenblättern für den Anschluß von 75-Ω-Koaxialkabel angegeben sind, lassen sich ohne Änderung

Tabelle 7.5. Antennenweichen des *VEB Antennenwerke Bad Blankenburg*

Eingänge	Eingangswiderstände	Ausgangswiderstand	maximale Dämpfung	Einsatzbeispiel	Bestell-Nr.
B II	75 oder 300 Ω	75 Ω	1,0 dB	Bild 7.10a	3001.00
B I oder B III oder B IV/V	75 Ω		1,5 dB		
B I	300 Ω	75 oder 300 Ω	1,0 dB	Bild 7.10b	3002.01
B II oder B III	300 Ω		1,5 dB		
B I oder B II	300 Ω	75 oder 300 Ω	1,0 dB	Bild 7.10c	3002.02
B III	300 Ω		1,5 dB		
B I oder B II oder B III	75 oder 300 Ω	75 Ω	1,0 dB	Bild 7.10d	3003.01
B IV/V	75 oder 300 Ω		1,5 dB		
B I oder B II oder B III	300 Ω	300 Ω	1,0 dB	Bild 7.10e	3003.02
B IV/V	300 Ω		1,5 dB		
B I oder B II	75 oder 300 Ω	75 Ω	1,0 dB	Bild 7.10f	3008.02
B III	75 oder 300 Ω		1,5 dB		
B IV/V	75 oder 300 Ω		1,5 dB		
B I	75 oder 300 Ω	75 Ω	1,0 dB	Bild 7.10g	3008.03
B II	75 oder 300 Ω		1,0 dB		
B III	75 oder 300 Ω		1,5 dB		
B IV/V	75 oder 300 Ω		1,5 dB		
B I oder B III	75 oder 300 Ω	75 Ω	1,0 dB	Bild 7.10h	3008.15
B II	75 oder 300 Ω		1,0 dB		
B IV/V	75 oder 300 B		1,5 dB		


Antennen
B II
B IV/V
B I
B II
B I
B III
B III
B IV/V
Zuleitungen
Ko/Ba
Ko
Ba
Ba
Ba
Ba
Ko/Ba
Ko/Ba
Antennenweichen
3001.00
3002.01
3002.02
3003.01
Ableitung
Ko
Ko/Ba
Ko/Ba
Ko
Empfängerweichen
3001.00
3002.01
Keine Empfänger-
weiche erforderlich
3012.01,
3012.02,
3012.03
Ko/Ba
Ko
Ba
Ba
UKW-
Empfänger
Fernseh-
empfänger
UHF
Fernseh-
empfänger
VHF
UKW-
Empfänger
VHF
UHF
a)
b)
c)
d)

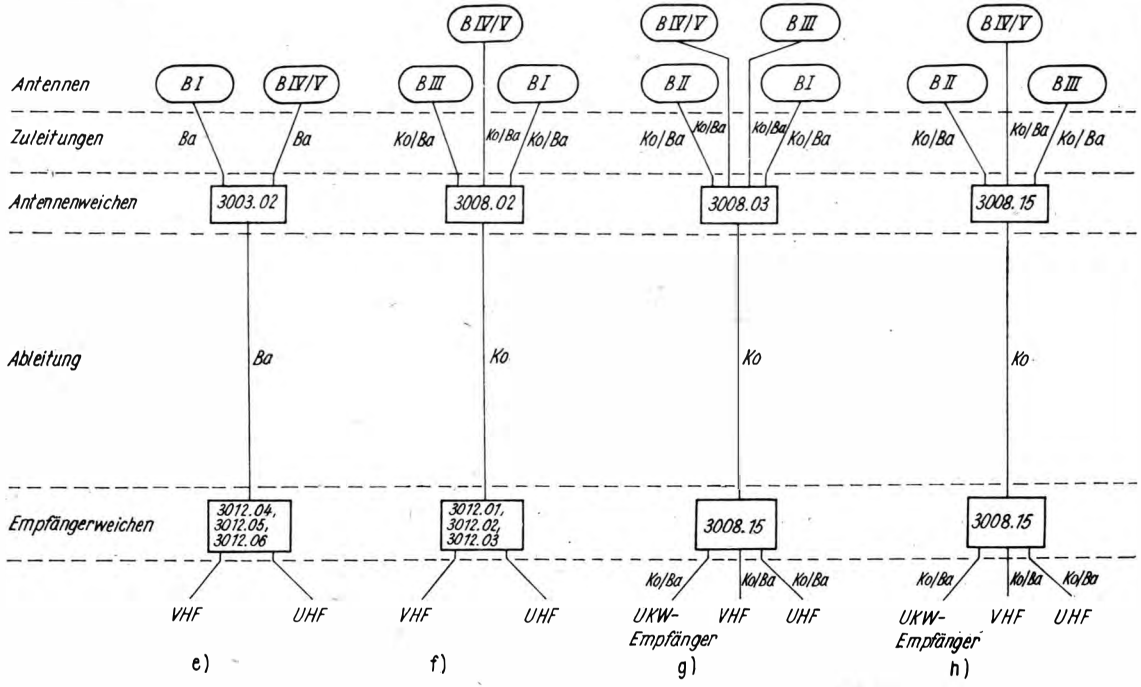

Antennen
Zuleitungen
Antennenweichen
Ableitung
Empfängerweichen
B I
B IV/V
B III
B II
Ba
Ko/Ba
3003.02
3008.02
3008.03
3008.15
Ko
3012.04, 3012.05, 3012.06
3012.01, 3012.02, 3012.03
VHF
UHF
UKW-Empfänger
e)
f)
g)
h)

Bild 7.10 Beispiele für das Zusammenschalten verschiedener Antennen über Antennenweichen; Abkürzungen: Ko — Koaxialkabel 60 Ω oder 75 Ω, Ba — Bandleitung 240 Ω oder 300 Ω. Die Weichen sind mit ihren Bestellnummern gekennzeichnet (s. Tabelle 7.4. und Tabelle 7.5.)

auch für die Beschaltung mit 60-Ω-Koaxialkabel verwenden. Gleichermaßen trifft das auch für Bandleitungsanschlüsse zu, die sowohl mit 300-Ω-Leitung als auch mit 240-Ω-Leitung beschaltet werden dürfen.

Aus Tabelle 7.5. sind die Daten der vom *VEB Antennenwerke Bad Blankenburg* hergestellten Antennenweichen zu entnehmen. Einsatzbeispiele für die Anwendung dieser Antennenweichen in Verbindung mit den zugehörigen Empfängerweichen sind in Bild 7.10 dargestellt.

Die Antennenweiche *3008.15* kann auch als Universal-Empfängerweiche verwendet werden. Es gibt außerdem noch Kombinationen, die für den Bereich III 2 selektive Kanalweichen enthalten. Sie sind für Fälle vorgesehen, wenn innerhalb dieses Bereichs 2 verschiedene Sender aus unterschiedlichen Richtungen empfangen werden (2 Antennen). Es sind alle denkbaren Kanalpaarungen möglich, sofern der Abstand zwischen den beiden gewünschten Kanälen mindestens eine Kanalbreite beträgt (Bestellnummern *3008.09* bis *3008.14*).

Die Selektivweiche *85.058* erlaubt das Zusammenschalten von 2 UHF-Antennen (Bereich IV/V), wobei zwischen den gewünschten Kanälen ein Abstand von mindestens 3 Kanalbreiten vorhanden sein muß. Die Durchgangsdämpfung wird mit $\leqq 2$ dB angegeben, die Weiche kann nur mit Koaxialkabel beschaltet werden.

8. Gemeinschaftsantennenanlagen

Mit einem Blick auf die Dächer größerer Wohngebiete kann man häufig einen wahren Antennendschungel, der aus mehr oder — zumeist — weniger fachmännisch errichteten Fernseh- und UKW-Rundfunkantennen besteht, erkennen. Solche Antennenanhäufungen können bestenfalls als ein äußeres Zeichen des ständig wachsenden Wohlstands unserer Bevölkerung betrachtet werden, bringen aber ansonsten nur Nachteile. Oft sind Beschädigungen der Dachhaut zu verzeichnen, Schornsteinfeger haben Sorgen, weil die Begehbarkeit der Dächer immer mehr behindert ist, und Fachleute erfaßt oft das Grausen beim Anblick dessen, was vielfach als *Blitzerde* einer Antenne bezeichnet wird.

Aber auch der Fernsehteilnehmer selbst kommt häufig zu keinem ungetrübten Genuß der Sendungen, denn die gegenseitige Annäherung vieler Antennen birgt manche Störungsmöglichkeiten. Die Oszillatoren der Fernsehempfänger und die von UKW-Rundfunkempfängern strahlen mit der Grundfrequenz auch ein Spektrum von Oberwellen mehr oder weniger stark über die angeschlossene Antenne aus. Von den umliegenden Antennen im Nahfeld wird diese unerwünschte Strahlung aufgenommen. Sie führt — abhängig von der eingestellten Empfangsfrequenz — zu Moiré in den Nachbargeräten. Aus dieser immer schwieriger werdenden Situation gibt es jedoch einen günstigen Ausweg: Es ist möglich, von einer zentralen Antenne aus beliebig viele Fernseh- und Rundfunkteilnehmer störungsfrei mit ausreichender Empfangsspannung durch eine Gemeinschafts-Antennenanlage zu versorgen. Es läßt sich beweisen, daß eine zweckmäßig errichtete Gemeinschaftsantennenanlage nicht nur hinsichtlich des störungsfreien Empfangs, sondern auch bezüglich des Kostenaufwands erheblich günstigere Eigenschaften aufweist als eine Vielzahl von Einzelantennen. Da größere Gemeinschaftsantennenanlagen immer von Fachbetrieben errichtet werden, ist auch die Gewähr dafür gegeben, daß die Anlage in allen Teilen den Gesetzen, Verordnungen und Sicherheitsbestimmungen entspricht.

8.1. Mehrere Fernsehempfänger an einer Antennenanlage

Häufig besteht der Wunsch, innerhalb einer Hausgemeinschaft 2 oder mehr Fernsehempfänger an eine bestehende Einzelantennenanlage anzuschließen; das ist die einfachste Form einer Gemeinschaftsantennenanlage. Unter der Voraussetzung, daß die Antenne eine große Nutzspannung abgibt, lassen sich verhältnismäßig einfach mehrere Teilnehmer ohne das Zwischenschalten eines Antennenverstärkers gleichzeitig versorgen.

8.1.1. Verstärkerlose Anlagen

Werden mehrere Fernsehgeräte von einer Antenne gemeinsam gespeist, so kann jeder Empfänger nur den Bruchteil der am Antennenspeisepunkt vorhandenen Empfangsenergie erhalten, der sich aus der Teilung der Gesamtenergie durch die Anzahl der versorgten Empfangsgeräte ergibt. Um gegenseitiges Stören der angeschlossenen Empfänger zu unterbinden, sind noch zusätzlich

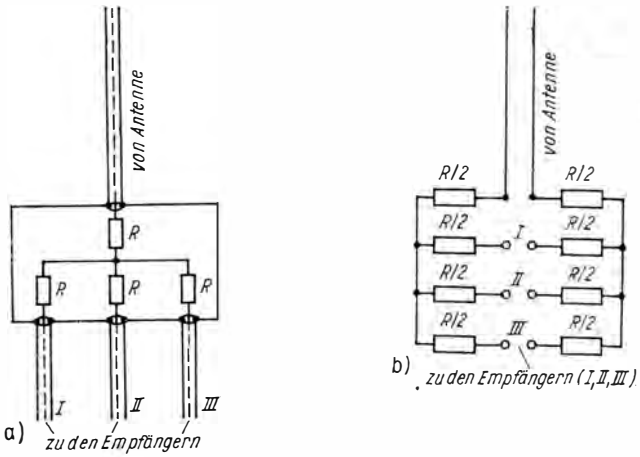


Bild 8.1 Antennenverteiler in Sternschaltung; a — unsymmetrisch (Koaxialkabel), b — symmetrisch (Bandleitung)

Entkopplungsmittel notwendig, die einen beträchtlichen Energieverlust verursachen. Dieser ist um so größer, je besser die Empfänger voneinander entkoppelt werden. Beim Zusammenschalten mehrerer Fernsehempfänger verwendet man frequenzunabhängige Entkopplungsmittel, die aus ohmschen Widerständen bestehen. In einer kleinen verstärkerlosen Antennenanlage, die — je nach vorhandener Antennenspannung — bis zu etwa 4 Teilnehmer versorgen kann, bevorzugt man die sternförmige Verteilung. Sie ist in Bild 8.1a für unsymmetrische Leitungen (Koaxialkabel) und in Bild 8.1b als symmetrische Verteilung (Bandleitung) dargestellt. Die Größe der Widerstände R hängt von der Anzahl n der vorgesehenen Verbraucherabgänge ab und errechnet sich aus

$$R = Z \frac{n - 1}{n + 1} \cdot \qquad (8.1.)$$

Für Z ist der Wellenwiderstand der Antennenniederführung einzusetzen, wobei vorausgesetzt wird, daß die Abgänge zu den Empfängern den gleichen Wellenwiderstand haben.

Beispiel

An eine Fernsehantenne mit Koaxialkabel-Niederführung ($Z = 60\,\Omega$) sollen 3 Empfänger angeschlossen werden. Die Widerstandswerte R für das Verteilernetzwerk betragen nach Gl. (8.1.)

$$R = 60\,\Omega \cdot \frac{3 - 1}{3 + 1} = 30\,\Omega \cdot$$

Bei einer symmetrischen Anlage mit Speisung durch Bandleitung ($240\,\Omega$) ist R/2 zu ermitteln, da sich R jeweils symmetrisch auf beide Zweige verteilt. Auch in diesem Fall gilt Gl. (8.1.).

Unter der Voraussetzung, daß die Eingangswiderstände der angeschlossenen Empfänger untereinander gleich und gleich dem Wellenwiderstand der Antennenableitung sind, verteilt sich die Antennenspannung gleichmäßig auf die einzelnen Verbraucher. Bei 2 Empfängern könnte demnach — wenn die Verteilung völlig verlustlos möglich wäre — jeder Empfänger nur 50 % der verfügbaren Antennenspannung erhalten. Bei 3 Empfängern wären das $33^1/_3$ % und bei 4 Verbrauchern 25 %. Ist n die Anzahl der angeschlossenen Fernsehempfänger, so verhält sich Eingangsspannung

U_e zur Ausgangsspannung U_a wie 1/n. Außerdem entstehen im Verteilersystem durch die Widerstände erhebliche Verluste; hinzu kommen noch die längenabhängigen Kabelverluste. Deshalb hat eine verstärkerlose Gemeinschaftsantennenanlage nur dann einen Sinn, wenn am Antennenfußpunkt mehrere Millivolt Spannung zur Verfügung stehen. Das ist jedoch im Versorgungsgebiet starker Fernsehsender oft der Fall.

Eine weitere Möglichkeit der Verteilung stellt das sogenannte Durchschleifverfahren dar, das in größeren Gemeinschaftsantennenanlagen vorwiegend verwendet wird. Bild 8.2 zeigt die Methode bei einer Stammleitung, die aus einem 60-Ω-Koaxialkabel besteht.

In einer verstärkerlosen Anlage mit z. B. 3 Teilnehmern ist diese Stammleitung das von der Antenne kommende Koaxialkabel, das bis zu dem am weitesten entfernten Verbraucher geführt wurde. Das Kabelende muß mit seinem Wellenwiderstand abgeschlossen werden, d. h., der Innenleiter wird mit dem Außenleiter über einen 60-Ω-Widerstand verbunden. Etwa 80 bis 100 cm vom

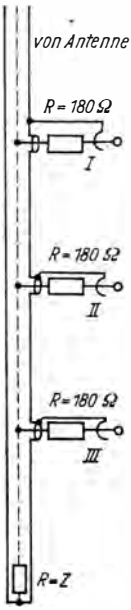


Bild 8.2
Verteiler im Durchschleifverfahren

Abschlußwiderstand entfernt zapft man den Kabelinnenleiter an und stellt über einen Entkopplungswiderstand den Anschluß III her. In gleicher Weise werden in entsprechender Entfernung die Anschlüsse II und I geschaffen. Bei Anlagen, die mit 75-Ω-Koaxialkabel ausgeführt sind, ändern sich die Widerstandswerte entsprechend.

Die Entkopplung zwischen den einzelnen Empfängern wird um so besser, je größer der Entkopplungswiderstand bemessen ist. Damit steigt aber auch die Dämpfung durch den Widerstand, denn schließlich stellt die Entkopplung in dieser Art eine Folge der Dämpfung dar. Darüber hinaus ist gerade in verstärkerlosen Anlagen nur eine begrenzte Antennenspannung vorhanden. Man wählt deshalb unter Verzicht auf völlige Entkopplung möglichst kleine Widerstandswerte. Als Faustregel zum Ermitteln des kleinstmöglichen Entkoppelwiderstands gilt, daß der Widerstandswert, der sich aus der Parallelschaltung aller Entkoppelwiderstände ergibt, nicht kleiner als 0,7 Z sein soll. Für Z ist der Wellenwiderstand der Stammleitung einzusetzen. In der Schaltung nach Bild 8.2 sind 3 Entkoppelwiderstände von je 180 Ω vorgesehen, ihre Parallelschaltung ergibt 60 Ω = 1,0 Z. Es wurde demnach nicht bis an die unterste Grenze von 0,7 Z gegangen.

Speziell für den Einsatz bei kleinen Gemeinschaftsantennenanlagen führt der Fachhandel besonders verlustarme Verteiler. Es werden *Zweifachverteiler* (Bestell-Nr. *3015.02*) und *Vierfachverteiler* (Bestell-Nr. *3019.01*) angeboten. Die Ein- und Ausgänge dieser Verteiler müssen mit 75-Ω-Koaxialkabel beschaltet werden. Alle Verteiler können im Frequenzbereich von 47 bis 790 MHz zum Einsatz kommen. Zwischen den Ausgängen besteht eine gute Entkopplungsdämpfung von ≧ 20 dB.

Der Zweifachverteiler *3015.02* weist eine Verteilerdämpfung von nur 4 dB auf, während beim Vierfachverteiler *3019.1* mit einer Verteilerdämpfung von ≦ 7,5 dB im VHF-Bereich und ≦ 8,5 dB im UHF-Bereich zu rechnen ist. Die verlustarmen Verteiler aus dem Universal-Verstärkersystem in geschirmter Technik haben annähernd die gleichen technischen Daten, der Zweifachverteiler hat die Bestell-Nr. *3024.01*, für den Vierfachverteiler lautet sie *3025.01* (Hersteller: *VEB Antennenwerke Bad Blankenburg*). Vergleichbare Verteiler in Widerstandsschaltung weisen Dämpfungswerte von durchschnittlich 6 dB für Zweifachverteiler und 12 dB für Vierfachverteiler auf. Für alle Verteiler gilt, daß nicht-

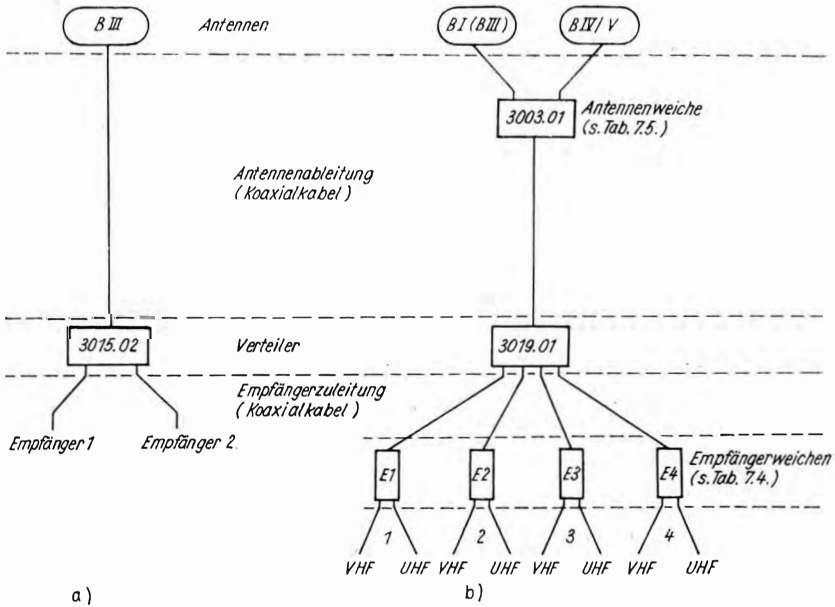


Bild 8.3 Beispiele für den Einsatz von verlustarmen Verteilern in kleinen Gemeinschafts-Antennenanlagen; a — einfachste Anlage für 2 Teilnehmer, b — Anlage für 4 Teilnehmer mit VHF und UHF

belegte Ausgänge mit einem Abschlußwiderstand von 75 Ω zu versehen sind.

Bild 8.3 zeigt 2 Schaltbeispiele für kleine verstärkerlose Gemeinschaftsantennenanlagen bei Verwendung von verlustarmen Verteilern.

Durch entsprechendes Zusammenschalten von Verteilern können auch mehr als 4 Teilnehmer versorgt werden. Ein solches Schaltbeispiel für 8 Teilnehmer ist in Bild 8.4 dargestellt.

Auch kleinste Gemeinschaftsantennenanlagen sollten ausschließlich in Koaxialkabel ausgeführt werden, weil sich diese Leitung beliebig verlegen läßt und durch den konzentrischen Außenleiter eine sehr wirksame Abschirmung aufweist. Ungeschirmte Bandleitungen haben diese Vorzüge nicht.

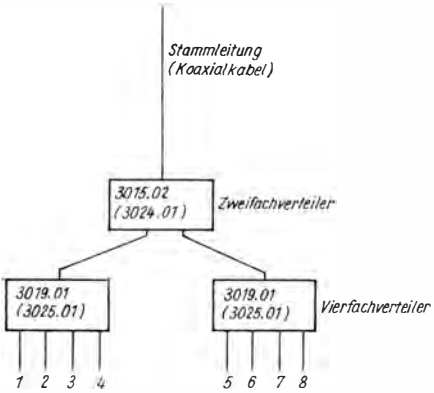


Bild 8.4 Beispiel einer Verteilerzusammenschaltung für 8 Teilnehmer

8.1.2. Anlagen mit Antennenverstärker

Kleine Antennenverstärker, wie sie vorzugsweise für den Einsatz in Einzelantennenanlagen entwickelt wurden, haben meistens ausreichende Verstärkungsreserven, um mehrere Teilnehmeranschlüsse versorgen zu können. Bei manchen Verstärkern ist deshalb ausgangsseitig bereits ein Verteiler für 2 oder 3 Teilnehmer eingebaut.

Wenn nur ein bestimmter Kanal verstärkt werden soll, setzt man *Kanalverstärker* ein, die auf den betreffenden Kanal fest abgestimmt sind. Kanalverstärker werden in schwierigen Empfangssituationen bevorzugt, da sie wegen ihrer hohen Eingangsselektion starke Ortssender und auch andere Störsender in der Nähe der Nutzfrequenz nicht mitverstärken. Durch diese gute Weitabselektion lassen sich Intermodulationsstörungen und Kreuzmodulationsstörungen wirksam verhindern. Sollen mehrere Kanäle verstärkt werden, dann muß man entsprechend viele Kanalverstärker einsetzen oder — wenn auf allen Bereichen Empfangsmöglichkeiten bestehen — einen *abstimmbaren* Mehrbereichsverstärker (z. B. Nr. *3109.01* des *VEB Antennenwerke Bad Blankenburg*) vorsehen.

Bereichsverstärker sind Breitbandverstärker, die jeweils einen ganzen Bereich (Band III oder Band IV/V) verstärken. Sie sind nur dort sinnvoll, wo innerhalb des betreffenden Bereichs mehrere schwächere Sender zu empfangen sind, aber kein starker Ortssender vorhanden ist. Dieser würde ebenso wie die schwachen Sender mitverstärkt werden, und Kreuz- und Intermodulationsstörungen wären die Folge. Abhilfe ist meistens möglich, wenn man den Eingang des Bereichsverstärkers mit einem selektiven Dämpfungsglied nach Abschnitt 7.2.2. beschaltet, das auf die Frequenz des starken Senders abgestimmt ist.

Beim *Mehrbereichsverstärker* sind mehrere Bereichsverstärker vorhanden, so daß die Bereiche I, II (UKW-Rundfunk), III und IV/V lückenlos verstärkt werden. Durch eingebaute Frequenzweichen werden alle Bänder ausgangsseitig auf eine gemeinsame Ableitung übertragen. Auch der Mehrbereichsverstärker bietet innerhalb seiner Bereiche keinerlei Selektion.

Einen Sonderfall bildet der bereits erwähnte *abstimmbare Mehrbereichsverstärker*, der im Prinzip aus 7 voneinander unabhängigen abstimmbaren Kanalverstärkern besteht, die über eingebaute

Tabelle 8.1. Antennenverstärker (Hersteller: *VEB Antennenwerke Bad Blankenburg*)

Kanalverstärker

Bereich	Kanal	Verstärkung	Rauschzahl F	Transistoren	Stromaufnahme	Bestell-Nr. mit Netzteil	Bestell-Nr. ohne Netzteil
I	3	20 dB	≦ 2,5	1 × SF 245	5 mA	3106.73	3106.23
I	4	20 dB	≦ 2,5	1 × SF 245	5 mA	3106.74	3106.24
III	5	18 dB	≦ 3,5	1 × SF 245	3,5 mA	3106.75	3106.25
III	6	18 dB	≦ 3,5	1 × SF 245	3,5 mA	3106.76	3106.26
III	7	18 dB	≦ 3,5	1 × SF 245	3,5 mA	3106.77	3106.27
III	8	18 dB	≦ 3,5	1 × SF 245	3,5 mA	3106.78	3106.28
III	9	18 dB	≦ 3,5	1 × SF 245	3,5 mA	3106.79	3106.29
III	10	18 dB	≦ 3,5	1 × SF 245	3,5 mA	3106.80	3106.30
III	11	18 dB	≦ 3,5	1 × SF 245	3,5 mA	3106.81	3106.31
III	12	18 dB	≦ 3,5	1 × SF 245	3,5 mA	3106.82	3106.32
Bereichsverstärker							
II	UKW-Rundfunk	20 dB	≦ 3,0	1 × SF 245	5 mA	3106.71	3106.21
III	5–12	22 dB	≦ 3,0	2 × SF 245	13 mA	3103.10	3103.11
IV	21–39	20 dB	≦ 6,5	1 × GF 147, 1 × GF 145	6,6 mA	3104.10	3104.11
Mehrbereichsverstärker							
I	2–4	20 dB	≦ 2,5	2 × SF 245	20 mA	3107.10	3107.11
II	UKW-Rundfunk	19 dB	≦ 3,0	1 × GF 147, 1 × GF 145			
III	5–12	22 dB	≦ 3,5				
IV	21–39	20 dB	≦ 6,5				

(Bereich I und Bereich II haben einen gemeinsamen Eingang)
Die Betriebsgleichspannung vorstehender Verstärker beträgt einheitlich 14 V. Alle Verstärkereingänge können wahlweise mit 60-/75-Ω-Koaxialkabel oder mit 240-/300-Ω-Bandleitung beschaltet werden. Alle Verstärkerausgänge sind nur für 60-/75-Ω-Koaxialkabel vorgesehen.

Abstimmbarer Mehrbereichsverstärker

Bereiche	Kanäle	Verstärkung	Rauschmaß	Transistoren	Bestell.-Nr. mit Netzteil	Bestell.-Nr. ohne Netzteil
I	2 ... 4	20 dB	8 dB	3 × GF 147	3109.01	3109.02
II	UKW-Rundfunk	20 dB	8 dB	3 × KT 610 A		
2 × III	5 ... 12	20 dB	9 dB	1 × SF 245		
3 × IV/V	21 ... 60	20 dB	10 dB			

Betriebsgleichspannung 18 V; Stromaufnahme 70 mA. Alle Verstärkereingänge sowie der Verstärkerausgang sind für den Anschluß von 75-Ω-Koaxialkabel ausgelegt. Der Verstärker darf nur in Innenräumen montiert werden.
(Nach Katalogangaben des *VEB Antennenwerke Bad Blankenburg.*)

Weichen auf einen gemeinsamen Ausgang geschaltet sind. Bei voller Auslastung dieses Verstärkers können 7 verschiedene Antennen angeschlossen werden (1× Band I, 1× Band II, 2× Band III und 3× Band IV/V). Ein solcher abstimmbarer Mehrbereichsverstärker läßt sich universell verwenden, da er den praktisch möglichen Empfangssituationen in allen Bereichen gewachsen ist und gleichzeitig ein Optimum an Selektion bietet.

In Tabelle 8.1. sind die im Angebot 1978 des RFT-Fachhandels befindlichen Antennenverstärker (Hersteller: *VEB Antennenwerke Bad Blankenburg*) mit ihren wichtigsten Daten aufgeführt. Es handelt sich ausschließlich um Verstärker, die sich auch für die Versorgung kleiner Hausgemeinschaften eignen.

Ein neues Universal-Verstärkersystem in geschirmter Technik wird ab 1979 mit allem Zubehör zur Verfügung stehen. Diese neue Generation von Antennenverstärkern ist nach dem Bausteinprinzip konzipiert und weist Steckverbindungen auf. Es bieten sich damit viele Kombinationsmöglichkeiten. Die lückenlose Abschirmung vom Antennenspeisepunkt bis zu den Empfängereingängen vermindert Störeinstrahlungen und Störausstrahlungen auf ein Mindestmaß.

Für alle in Tabelle 8.1. aufgeführten Antennenverstärker besteht die Möglichkeit, sie mit abgesetztem Netzteil zu betreiben. Die Betriebsgleichspannung zu den Verstärkern läßt sich über das koaxiale Speisekabel zuführen, die dazu erforderliche Gleichstromweiche ist bereits in das Netzteil eingebaut. Wenn sich allerdings in der Stammleitung zwischen Antennenverstärker und Empfänger Antennenweichen oder Verteiler befinden, dann kann die Betriebsspannung dem Verstärker nicht mehr über die Stammleitung zugeführt werden. Da in allen kleinen Gemeinschaftsantennenanlagen mit Antennenverstärkern mindestens ein Verteiler vorhanden ist, muß man in diesen Fällen bei abgesetztem Netzteil eine gesonderte Niederspannungszuleitung zu den Verstärkern verlegen.

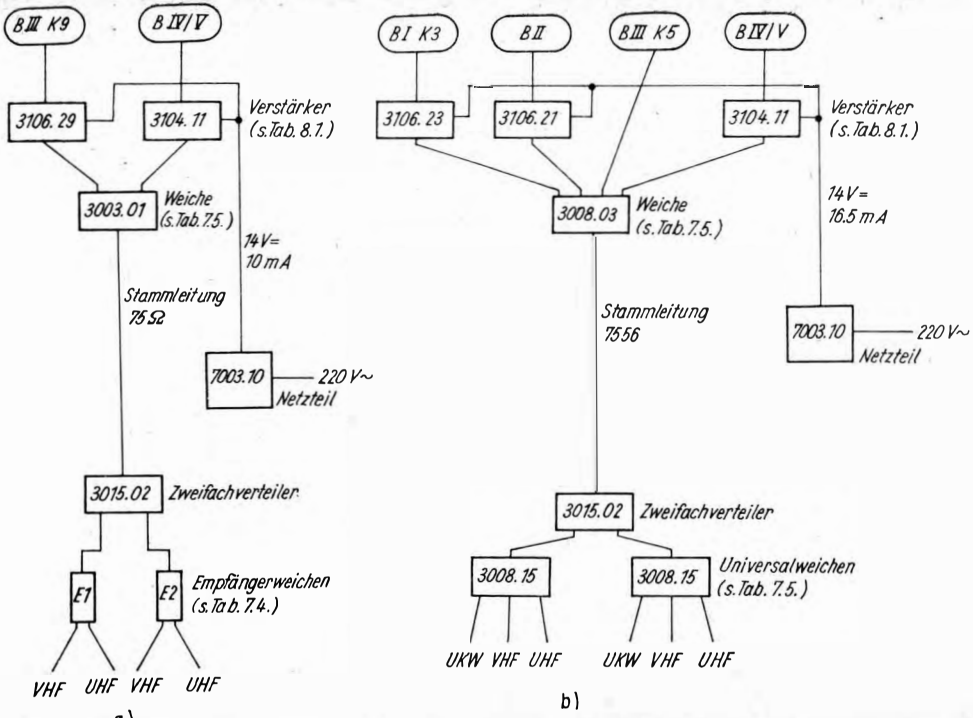


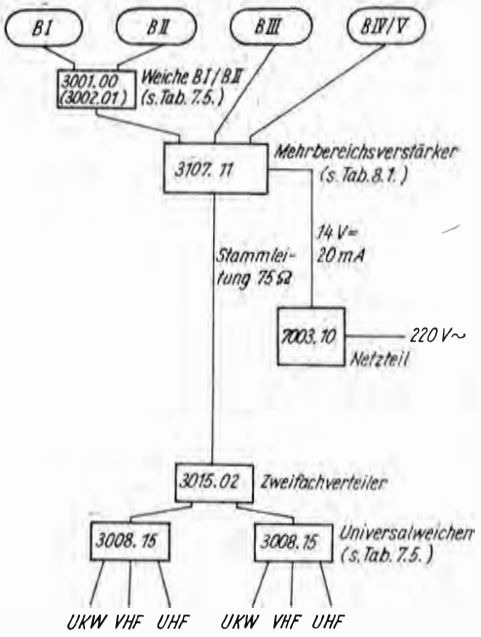
Bild 8.5 Beispiele für den Aufbau kleiner Gemeinschafts-Antennenanlagen mit Antennenverstärkern;

a — 1 Kanalverstärker, 1 Bereichsverstärker, 2 Teilnehmer;

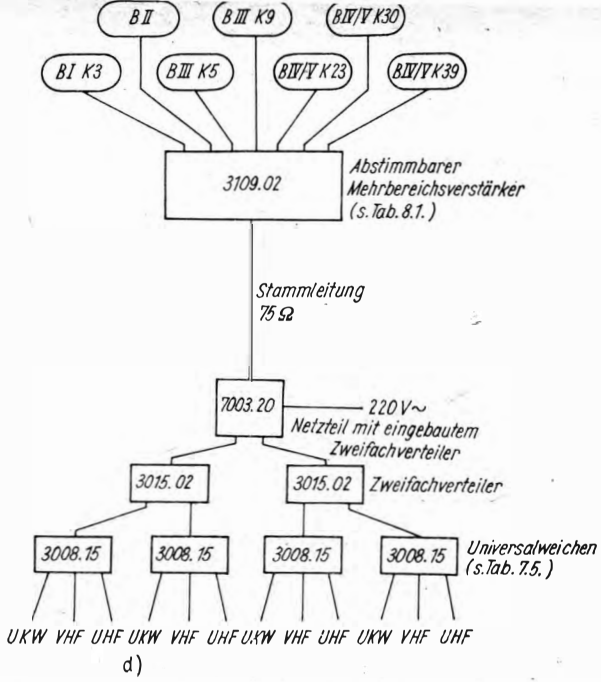
b — 1 Kanalverstärker, 2 Bereichsverstärker, 2 Teilnehmer;

c — 1 Mehrbereichsverstärker, 2 Teilnehmer

d — 1 abstimmbarer Mehrbereichsverstärker, 4 Teilnehmer


B I
B II
B III
B IV/V
3001.00
(3002.01)
Weiche B I / B II
(s. Tab. 7.5.)
3107. 11
Mehrbereichsverstärker
(s. Tab. 8.1.)
14 V=
20 mA
Stammlei-
tung 75 Ω
7003. 10
220 V~
Netzteil
3015. 02
Zweifachverteiler
3008. 15
3008. 15
Universalweichen
(s. Tab. 7.5.)
UKW VHF UHF
UKW VHF UHF

c)


B II
B III K9
B IV/V K30
B I K3
B III K5
B IV/V K23
B IV/V K39
3109.02
Abstimmbarer
Mehrbereichsverstärker
(s. Tab. 8.1.)
Stammleitung
75 Ω
7003. 20
220 V~
Netzteil mit eingebautem
Zweifachverteiler
3015. 02
3015. 02
Zweifachverteiler
3008. 15
3008. 15
3008. 15
3008. 15
Universalweichen
(s. Tab. 7.5.)
UKW VHF UHF UKW VHF UHF UKW VHF UHF UKW VHF UHF

d)

Die transistorbestückten Antennenverstärker sind für Dauerbetrieb konstruiert, bei ihnen gibt es praktisch keinen Betriebsverschleiß. Zudem ist der Stromverbrauch äußerst gering (s. Tabelle 8.1.).

Vom Netzteil für Antennenverstärker *7003.10* können im Rahmen der zulässigen Belastung von 35 mA mehrere Kanal- und Bereichsverstärker gespeist werden. Alle Antennenverstärker haben Anschlußklemmen für die getrennte Stromzuführung.

Bild 8.5 zeigt einige Beispiele für die Schaltung kleiner Gemeinschaftsantennenanlagen, bei denen die in Tabelle 8.1. aufgeführten Antennenverstärker verwendet werden. Bei der Planung solcher Anlagen sind die am Standort vorhandenen Empfangsverhältnisse vorher sorgfältig zu untersuchen und, wenn möglich, mit einem Antennentestgerät die Feldstärkewerte der empfangswürdigen Fernsehsender festzustellen. Dementsprechend sind die einzusetzenden Antennen auszuwählen. Wenn ein starker Ortssender vorhanden ist, sollte man diesen nicht noch verstärken, sondern dessen Antenne direkt auf die Antennenweiche schalten (s. Bild 8.5b). Technisch gesehen bietet der Einsatz von Kanalverstärkern in den meisten Fällen die sinnvollste Lösung. Die große Auswahl an Antennenverstärkern und Zubehör erlaubt es in allen vorkommenden Fällen, die technisch optimale und zugleich wirtschaftlich günstigste Lösung zu finden.

Welche Empfangsspannungen jeweils an den Teilnehmeranschlüssen vorhanden sein werden, ist näherungsweise zu ermitteln, indem man die Summendämpfung in Dezibel feststellt und von der für den Antennenverstärker angegebenen Verstärkung abzieht. Die Summendämpfung setzt sich aus den für die verwendeten Weichen und Verteiler angegebenen Dämpfungswerten und den Kabelverlusten in Dezibel zusammen. Da es dabei nicht auf eine exakte Berechnung ankommt, können weitere Verluste, die durch auftretende Fehlanpassung entstehen, pauschal mit 1 bis 2 dB berücksichtigt werden. Die frequenzabhängigen Kabelverluste sind für das gesamte Leitungsnetz zwischen Verstärkerausgang und Empfängereingang zu ermitteln (s. Tabelle 3.1. bis Tabelle 3.3; Teil I).

9. Gesetzliche Vorschriften für den Aufbau von Empfangs-Antennenanlagen

Der Fachbereichsstandard TGL 200-7051 Bl. 2 (Empfangs-Antennenanlagen für Hör- und Fernseh-Rundfunk — Sicherheitsforderungen) ist ab 1. 4. 1971 für alle ortsfesten Empfangs-Antennenanlagen und für alle ortsveränderlichen Empfangs-Antennenanlagen, die vorübergehend ortsfest errichtet werden, verbindlich.

Nachstehend werden die wichtigsten Bestimmungen aus diesem Fachbereichsstandard auszugsweise aufgeführt (Abschnittsnumerierung entspricht der TGL).

Die in 2. enthaltenen *allgemeinen Forderungen* erklären unter 2.1., daß zusätzlich zu den Forderungen dieses Standards die Festlegungen anderer Rechtsvorschriften, insbesondere des Bauwesens (DBO) sowie des Arbeits- und Brandschutzes (ASAO, ABAO, BAO u. a.), einzuhalten sind (z. B. ASAO 331/1 § 43 — Arbeiten an und auf Dächern — und ASAO 336/1 — Schornsteinfegerhandwerk).

2.2. Antennenanlagen auf Dächern dürfen die Begehbarkeit vorgesehener Zugänge zu Schornsteinen und die Kehrarbeiten der Schornsteinfeger nicht behindern oder erschweren. Die Zugänglichkeit und Bedienung anderer Einrichtungen darf ebenfalls nicht behindert oder erschwert sein. An allen Verkehrswegen und Begehungsstellen unter oder über Dach sowie über Schornsteinmündungen muß ein vertikaler Abstand von mindestens 2 m und ein seitlicher Abstand von den Laufbohlenaußenkanten von mindestens 0,3 m eingehalten werden. Stellen, an denen sich eine Gefahr des Stolperns, Hängenbleibens und dergleichen nicht vermeiden läßt, sind gut sichtbar zu kennzeichnen. Antennenzuleitungen und Erdungsleitungen dürfen nicht über Laufstegen oder an deren Außenkanten verlegt werden. Das Verlegen von Antennenzuleitungen und Erdungsleitungen durch Schornsteine, auch unbenutzte, und Lüftungsschächte ist unzulässig.

2.3. Auf weichgedeckten Dächern (z. B. Deckung aus Stroh oder Schilf) ist das Errichten von Antennenanlagen unzulässig, Antennenzuleitungen dürfen durch solche Dächer nicht hindurchgeführt werden. Bei Gebäuden mit solchen Dächern müssen die

Antennen vom Gebäude abgesetzt errichtet werden, wenn keine Antenne nach Abschnitt 4.1.1.2. verwendbar ist. Der Abstand zwischen Antenne und Dachhaut muß mindestens 1 m betragen.
2.4. Drähte oder Seile an Antennenanlagen im Freien müssen einen Durchmesser von mindestens 1 mm aufweisen.
2.5. Teile von Antennenanlagen, die betriebsmäßig oder im Störungsfalle Wärme abgeben (z. B. Antennenverstärker), müssen so errichtet werden, daß durch sie kein Brand entstehen kann.
Abschnitt 3. *Mechanische Forderungen* gliedert sich in
3.1. *Festigkeit von Antennen und Antennentragwerken* und 3.2. *Befestigung von Antennen und Antennentragwerken.*
3.1.1. Die Antennenanlage muß in allen ihren Teilen auftretenden mechanischen Beanspruchungen genügen und den Witterungseinflüssen, denen sie ausgesetzt ist, widerstehen. Zusammengesetzte Rohre mit Gewindemuffen dürfen nicht verwendet werden. Rohrverbindungen müssen gegen Verdrehen und Verschieben gesichert sein und an jeder Stelle den Anforderungen an die Festigkeit entsprechen.
3.1.2.1. Für die Berechnung der Festigkeit von Antennen und Antennentragwerken sind die Lastannahmen nach TGL 200-0614 Bl. 2 zugrunde zu legen; hiervon ausgenommen sind Antennen und Antennentragwerke nach Abschnitt 3.1.2.2.
3.1.2.2. Für Antennenaufbauten, bestehend aus Antenne(n) und Antennentragwerk, mit einer freien Gesamtlänge bis 10 m sind ein Staudruck von $q = 70$ kp/m² und ein mittlerer Beiwert von $c = 1{,}0$ einzusetzen, wenn die Windfläche der Antenne(n) F_i allein 0,25 m² nicht überschreitet. Diese Antennenaufbauten dürfen bis zu einer Höhe von 40 m über dem Erdboden und auch auf Gebäuden von mehr als 40 m Höhe verwendet werden, wenn sie die Dachhaut nicht mehr als 10 m überragen. Nicht als Gebäude in diesem Sinne gelten schlanke Bauwerke wie Türme, hohe frei stehende Schornsteine, Fabrikschornsteine und Maste. Zu beachten sind dabei die einschlägigen baulichen Bestimmungen (z. B. DBO § 10). In Gebieten, in denen erfahrungsgemäß mit höheren Staudrücken oder mit starker Vereisung zu rechnen ist, sind die hierdurch auftretenden Belastungen durch erhöhte Lastannahmen zu berücksichtigen.
3.1.2.3. Berechnung der Rohrabmessungen für Antennentragwerke mit einer freien Gesamtlänge bis zu 10 m einschließlich Antenne(n).

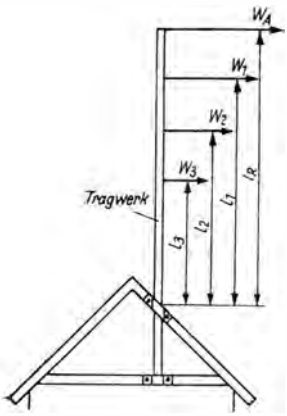


Bild 9.1
Windlasten an Antennentragwerk

Die Windlast W_i der Antenne, die das Antennentragwerk aufnehmen muß, ergibt sich zu:

$$W_i = c \cdot q \cdot A_i = A_w \cdot q \ ;$$

W_i — Windlast der Antenne in kp, c — Beiwert (dimensionslos), q — Staudruck in kp/m², A_i — größte, dem Wind ausgesetzte Fläche der Antenne in m² (hintereinanderliegende Flächen sind zu addieren), A_w — Winddruckfläche der Antenne in m².
Bei Befestigung mehrerer Antennen am selben Antennentragwerk (Bild 9.1) ist die Berechnung für jede einzelne Antenne ebenso durchzuführen, auch wenn die Antennen verschieden ausgerichtet sind.

$$W_A = \frac{W_1 \cdot l_1 + W_2 \cdot l_2 + W_3 \cdot l_3 + \ldots + W_n \cdot l_n}{l_R}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot l_i}{l_R} \ ;$$

W_A — Windlast auf die Antennen, bezogen auf die Spitze des Antennentragwerkes, l_R — Abstand zwischen dem höchsten Punkt des Antennentragwerkes und dem oberen Befestigungspunkt (freie Länge), $l_{1 \ldots n}$ — Abstand zwischen dem Befestigungspunkt

der jeweiligen Antenne und dem oberen Befestigungspunkt des Antennentragwerkes.

Bei nicht abgespannten Antennentragwerken gilt allgemein:

$$W = \frac{w \cdot \sigma_{zul}}{l_R} = W_A + \frac{1}{2} W_R$$

$$= W_A + \frac{1}{2} (c \cdot q \cdot d \cdot l_R) = \sum_{i=1}^{i=n} W_i ;$$

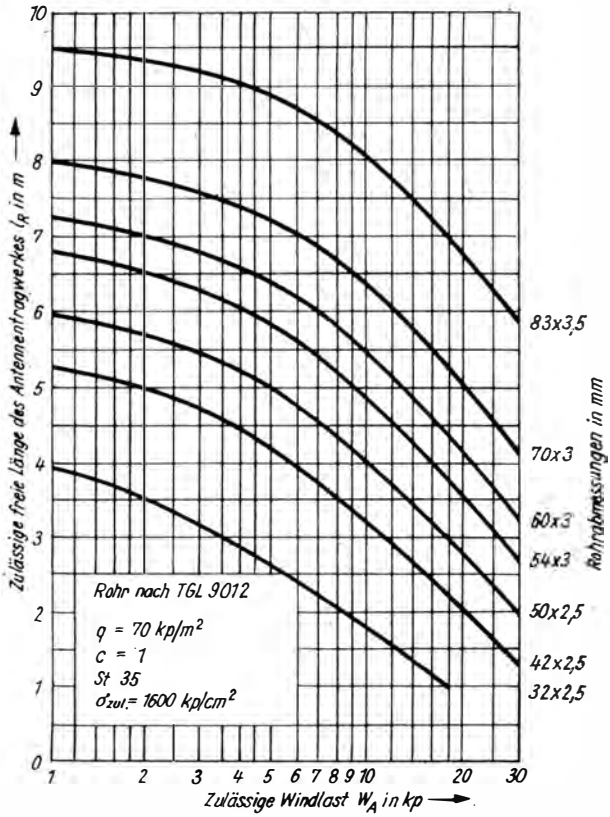


Bild 9.2 Zulässige freie Länge des Antennentragwerks

W — gesamte Windlast, bezogen auf die Spitze des Antennentragwerkes, W_R — Windlast auf das Antennentragwerk allein, d — Durchmesser des rohrförmigen Antennentragwerkes, w — Widerstandsmoment, σ_{zul} — zulässige Werkstoffbeanspruchung.

3.1.2.4. Berechnung des Einspannmomentes für nichtabgespannte Antennentragwerke gleichen Querschnittes.

Das Einspannmoment M ergibt sich zu

$$M = W_A \cdot l_R + W_R \cdot \frac{1}{2} l_R .$$

3.1.2.5. Vom Hersteller der Antennen ist die Winddruckfläche A_w anzugeben, die für die Berechnung der Windlast nach Abschnitt 3.1.2.3. benötigt wird.

Fällt der Befestigungspunkt des Antennengebildes nicht mit dem Angriffspunkt der Windlast zusammen, so ist der Abstand zwischen Befestigungspunkt und Angriffspunkt ebenfalls zu berücksichtigen. Die zulässige freie Länge für Antennentragwerke mit kreisförmigem Querschnitt in Abhängigkeit von der Windlast ist Bild 9.2 zu entnehmen. Dasselbe Bild enthält gleichzeitig die Werte der zweckmäßigen Abmessungen für nahtlos warm gewalzte Stahlrohre *St 35* nach *TGL 9012*.

3.2. Befestigung von Antennen und Antennentragwerken.

3.2.1. Ausreichende Festigkeit der Befestigung des Antennentragwerkes ist nachzuweisen. Dieser Nachweis entfällt, wenn das Einspannmoment des Antennentragwerkes weniger als 50 kpm beträgt.

3.2.2. Bei der üblichen Befestigung mit zwei Schellen an Gebäudeteilen, z. B. am Dachgebälk oder im Mauerwerk, müssen die Einspannstellen bei einem Antennentragwerk von über 1 m Länge einen Mindestabstand von 10% der Gesamtlänge, mindestens jedoch 75 cm für das Dachgebälk und 50 cm für Mauerwerk, haben.

3.2.3. Die Befestigung in Mauerwerk oder Beton mit Gips ist unzulässig.

3.2.4. Die Befestigung von Antennentragwerken, Antennen oder Abspannungen an Einzelschornsteinen (einzügigen Schornsteinen) ist aus Gründen der Betriebssicherheit unzulässig.

Eine Befestigung oder Verankerung an Schornsteingruppen (mehrzügigen Schornsteinen), frei stehenden Schornsteinen, Fabrikschornsteinen, Turmkaminen, Formsteinkaminen, Entlüftungsschächten und sonstigen Dachaufbauten ist nur dann zu-

lässig, wenn die Festigkeit dieser Baulichkeiten den durch die Antennenanlage zu erwartenden Beanspruchungen genügt und die Zustimmung der für das Bauwerk zuständigen Stelle vorliegt. Die Befestigung darf nur mit Befestigungsmitteln erfolgen, die die vorgenannten Baulichkeiten umfassen und dabei deren Festigkeit, z. B. durch Einschneiden, nicht verringern.

Für frei stehende Schornsteine sind auch Befestigungsmittel zulässig, die diese nicht umfassen. Es sind dann mindestens zwei Befestigungsstellen mit einem Abstand nach Abschnitt 3.2.2. vorzusehen. Der Abstand zwischen der oberen Kante der gemauerten Baulichkeit und dem oberen Befestigungspunkt des Antennentragwerkes muß mindestens 30 cm betragen. Das Antennentragwerk muß an der dem Aufstieg abgewandten Seite angebracht sein und vom Mauerwerk des Schornsteins einen Abstand von mindestens 8 cm aufweisen.

Die Bauanzeigepflicht ist zu beachten, wenn Antennenanlagen den Dachfirst um mehr als 5 m überragen.

3.2.5. Antennentragwerke, Antennen und Abspannungen dürfen an Gebäuden, Dachaufbauten, Dachständern und dergleichen nur dann befestigt werden, wenn die Standsicherheit gewährleistet ist.

3.2.6. Bei der Bemessung von Antennenleitungen und Abspannungen ist mit der dreifachen Sicherheit gegenüber Bruchlast zu rechnen.

3.2.11. Drähte und Seile dürfen keine Knoten aufweisen.

3.2.12. In Schlaufen von Drähten und Seilen sind Kauschen zu verwenden.

3.2.13. Die Prüflast (Zug- oder Druckfestigkeit) der in Antennenzuleitungen oder Abspanndrähten und Abspannseilen benutzten Isolatoren muß der Zugfestigkeit der Drähte oder Seile entsprechen.

3.2.14. Berührungsstellen verschiedener Metalle müssen korrosionsgeschützt sein.

4. Elektrische Forderungen.

4.1. Schutz gegen Blitzschäden und gegen atmosphärische Überspannungen.

4.1.1. Antenne und Antennenzuleitung

4.1.1.1. Außenantennen.

4.1.1.1.1. Außerhalb von Bauwerken angebrachte leitfähige Teile von Antennenanlagen sowie metallene Dachaufbauten, die zum Tragen oder Befestigen von Antennen verwendet werden, müssen

über eine Erdungsleitung nach Abschnitt 4.1.2.2. mit einem Erder nach Abschnitt 4.1.2.1. verbunden werden. Hiervon ausgenommen sind Außenantennen nach Abschnitt 4.1.1.2.1., letzter Absatz.
Ist aus Betriebsgründen eine elektrisch leitfähige Verbindung nicht möglich, so darf die Erdungsleitung durch Trennfunkenstrecken nach Abschnitt 4.1.2.3.1. — Grobschutz — unterbrochen werden.
Zum Ableiten atmosphärischer Überspannungen, die z. B. Schutzkondensatoren in Geräten gefährden können, ist ein Feinschutz nach Abschnitt 4.1.2.3.1. erforderlich, wenn der Gleichstromwiderstand zwischen Antenne und Erde mehr als 500 Ω beträgt.
Eine nach vorliegendem Standard errichtete Antennenanlage gilt als Teil der Blitzschutzanlage des Gebäudes, wenn zusätzlich zu den Forderungen dieses Standards die Forderungen nach *TGL 200-0616* eingehalten werden.

4.1.1.1.2. Wenn auf einem Gebäude eine Blitzschutzanlage vorhanden ist oder errichtet wird, ist die Antennenanlage in die Blitzschutzanlage einzubeziehen. Dafür gelten die Forderungen nach *TGL 200-0616.*

4.1.1.1.3. Sollen elektrisch nicht leitfähige Antennentragwerke gegen Zerstören (Zersplittern) geschützt werden, so ist als Splitterschutz am Antennentragwerk ein bis zur Spitze geführter verzinkter Stahldraht von mindestens 3 mm Durchmesser oder Kupferdraht von mindestens 6 mm² Querschnitt anzubringen, der nach Abschnitt 4.1.2. zu erden ist.
Ist aus hochfrequenztechnischen Gründen ein durchgehender Draht nicht möglich, so darf er durch zwischengeschaltete Trennfunkenstrecken nach Abschnitt 4.1.2.3.1. — Grobschutz — unterbrochen werden.

4.1.1.1.4. Sollen Isolatoren gegen Zerstören geschützt werden, so sind diese durch Schutzfunkenstrecken zu überbrücken. Die Ansprechspannung dieser Schutzfunkenstrecken muß kleiner als die Durchschlagspannung des Isolators sein.

4.1.1.2. Innenantennen und diesen gleichzusetzende Antennen.

4.1.1.2.1. Auf eine Erdung zum Ausgleich atmosphärischer Überspannungen kann verzichtet werden bei

— Zimmerantennen, Einbauantennen und Gehäuseantennen;
— Antennen unter der Dachhaut, wenn deren äußerster Punkt und die Antennenzuleitung mindestens 0,5 m von der Dachhaut-Innenseite und von Schornsteinen sowie Entlüftungs-

anlagen entfernt und die Antennenzuleitung im Inneren des Gebäudes geführt ist. Bei außen geführten Antennenzuleitungen sind die Forderungen nach *TGL 200-0616* zu beachten, falls die folgenden Abstände nicht eingehalten werden können;

— Außenantennen, deren höchster Punkt und deren Antennenzuleitung mindestens 3 m unter einer metallenen Dachrinne oder 2 m unter einer Dachrinne aus nichtleitendem Material und deren äußerster Punkt und deren Antennenzuleitung nicht mehr als 2 m von der Außenwand des Gebäudes entfernt liegen (z. B. Fensterantennen).

4.1.1.2.2. Wenn das Gebäude eine Blitzschutzanlage nach *TGL 200-0616* aufweist, muß der Mindestabstand D des äußersten Punktes der Antenne oder der Antennenzuleitung zu Teilen der Blitzschutzanlage nach folgender Beziehung gewählt werden:

$$D \geqq \frac{1}{5} R ;$$

D — Mindestabstand in m, R — Gesamterdungswiderstand der Blitzschutzanlage in Ω.

4.1.1.2.3. Ist die Bedingung nach Abschnitt 4.1.1.2.2. nicht erfüllt, dann muß eine leitende Verbindung zur Blitzschutzanlage hergestellt werden. Trennfunkenstrecken nach Abschnitt 4.1.2.3.1. — Grobschutz — gelten als leitende Verbindung in diesem Sinne.

4.1.1.3. Antennenzuleitung.

Um das Abspringen des Blitzstromes zu geerdeten Teilen im Gebäude an brandgefährdeten Stellen zu vermeiden, muß zwischen der Antennenzuleitung und den sichtbar verlegten, geerdeten Installationen des Gebäudes oder Bauteilen eine Überschlagstelle nach Abschnitt 4.1.2.3. vorhanden sein. Die Überschlagstelle muß eine geringere Schlagweite haben als die brandgefährdete Näherungsstelle und ist möglichst oberhalb von ihr anzubringen.

Brandgefahr besteht, wenn sich brennbare Stoffe im Überschlagbereich befinden.

Mit Erde in Verbindung stehende Installationen des Gebäudes sind z. B. Metallrohre von Wasserleitungen, Gasleitungen, Zentralheizungsanlagen, Einbauten in Fahrstuhlschächten und Eisentreppen.

4.1.2. Erdungsanlage.

4.1.2.1. Erder.

4.1.2.1.1. Als Erder sind zu verwenden:

— Metallene Rohre, sofern sie mit weiträumig in der Erde verlegten Rohrnetzen gut leitfähig verbunden sind. Das sind z. B. Wasserrohrnetze, nicht jedoch wärmeisolierte Fernheizrohrnetze. Gasrohrnetze sind als alleinige Erder nicht zulässig;
— Blitzschutzerder nach *TGL 200-0616*;
— Stahlskelette und Armierungen von Stahlskelett- oder Betongebäuden;
— Schutzerder von elektrotechnischen Anlagen für Niederspannung, die Erdungsleitung der Antenne ist dabei unmittelbar an die Anschlußklemme des Erders anzuschließen, der Schutzleiter der elektrotechnischen Anlage darf hierzu nicht benutzt werden.

4.1.2.1.2. Sind keine Erder nach Abschnitt 4.1.2.1.1. vorhanden, sind für Antennen besondere Erdungsanlagen zu errichten.

4.1.2.1.3. Sind mehrere geerdete Installationssysteme in einem Gebäude vorhanden, so ist deren Verbindung untereinander zweckmäßig, sofern betriebstechnische Gründe dem nicht entgegenstehen.

Für Verbindungen mit elektrotechnischen Anlagen gilt *TGL 200-603 Bl. 7*.

4.1.2.1.4. In Netzen, in denen Nullung als Schutzmaßnahme zugelassen, aber im Gebäude kein Erder vorhanden ist, muß der Erder der Antennenanlage mit dem Nulleiter nach *TGL 200-0602 Bl. 3* durch eine Erdungsleitung verbunden werden. Der Querschnitt dieser Erdungsleitung muß bei Kupfer mindestens 16 mm², bei verzinktem Stahldraht mindestens 25 mm² betragen.

4.1.2.1.5. In Netzen, in denen die Schutzerdung als Schutzmaßnahme zulässig ist (s. *TGL 200-0602 Bl. 3*), darf der Erder der Antennenanlage mit allen Erdern verbunden werden. Eine Verbindung mit dem Mittelleiter ist unzulässig.

4.1.2.2. Erdungsleitungen.

4.1.2.2.1. Abmessungen.

Erdungsleitungen dürfen in ihren Abmessungen die Werte nach Tabelle 9.1. nicht unterschreiten.

Bei Drähten aus Kupfer oder Aluminium ist z. B. Plastaderleitung NYA nach *TGL 21804 Bl. 5* zulässig.

Ableitungen von Blitzschutzanlagen, metallene Rohre und andere Baulichkeiten am Gebäude mit ausreichenden Querschnitten, z. B. Feuerleitern, sind als Teile der Erdungsleitung zulässig. Regenfallrohre sind unzulässig.

Tabelle 9.1. Mindestabmessungen für Erdungsleitungen

Werkstoff	Verlegung außerhalb von Gebäuden	Verlegung innerhalb von Gebäuden
Stahl, verzinkt	Draht 8 mm Durchmesser, Seil unzulässig, Band 20 mm × 2,5 mm, Draht mit thermoplastischer Schutzhülle. Mindestwanddicke 1 mm, 4,5 mm Durchmesser oder 16 mm^2 Querschnitt	4,5 mm Durchmesser oder 16 mm^2 Querschnitt
Kupfer	Draht 8 mm Durchmesser, Seil 7 × 3 mm Durchmesser, Band 20 mm × 2,5 mm, Draht mit thermoplastischer Schutzhülle. Mindestwanddicke 1 mm, 3,5 mm Durchmesser oder 10 mm^2 Querschnitt	3,5 mm Durchmesser oder 10 mm^2 Querschnitt
Aluminium	Draht 10 mm Durchmesser, Seil unzulässig, Band 25 mm × 4 mm, Draht mit thermoplastischer Schutzhülle. Mindestwanddicke 1 mm, 4,5 mm Durchmesser oder 16 mm^2 Querschnitt	4,5 mm Durchmesser oder 16 mm^2 Querschnitt

Gasrohrleitungen sind Nebenableitungen und als einzige Erdungsleitungen unzulässig.

Erdungsleitungen mit den Abmessungen nach Tabelle 9.1. für Verlegung innerhalb von Gebäuden dürfen bis zu einer Länge von 1 m auch aus dem Gebäude herausgeführt werden, z. B. Anschluß an Antenne, Antennentragwerk oder Überspannungsschutz.

4.1.2.2.2. Verlegung.

Werden mehrere Antennen auf einem Gebäude errichtet und beträgt deren Abstand weniger als 10 m, so sind ihre Erdungsleitungen miteinander zu verbinden, sofern betriebstechnische Gründe nicht entgegenstehen. Eine gemeinsame Ableitung ist zulässig, wenn die Länge der Erdungsleitungen der einzelnen Antennen bis zur Anschlußstelle an der gemeinsamen Ableitung weniger als

10 m beträgt. Bei mehr als 10 m Länge sind entsprechend weitere Ableitungen anzubringen.

Erdungsleitungen sind auf möglichst kurzem Wege zum Erder zu führen. Eine annähernd senkrechte Führung ist zu bevorzugen. Stellenweise waagerechte oder steigende Anordnung der Erdungsleitungen, z. B. bei Führung um Gebäudevorsprünge, ist zulässig. Dabei muß jedoch der Abstand von zwei beliebigen Punkten (d in Bild 9.3) zwischen Anfang und Ende der Umleitung größer sein als $^1/_{10}$ der zwischen diesen Punkten liegenden Leitungslänge (s. Bild 9.3).

Erdungsleitungen nach Abschnitt 4.1.2.2.1. müssen sichtbar verlegt sein; sie dürfen nicht in Schutzrohren, im oder unter Putz liegen. Kurze Wand- oder Deckendurchführungen in Schutzrohren sind jedoch zulässig.

Die Verlegung von Erdungsleitungen ohne Abstandsschellen auf Holz ist zulässig.

4.1.2.2.3. Verbindungsstellen.

Verbindungsstellen im Zuge der Erdungsleitung sind möglichst zu vermeiden und dürfen nicht unmittelbar auf Holz oder in der Nähe leichtbrennbarer Stoffe liegen.

Verbindungsstellen müssen zugänglich sein und dürfen sich nicht lockern.

Eine Verbindung mit leitfähigen Rohren, z. B. mit Heizungs- oder Wasserleitungsrohren, ist über Schellen mit mindestens 10 cm² Berührungsfläche vorzunehmen.

Wasserzähler und ähnliche Geräte sind mit einem Leiter nach Abschnitt 4.1.2.2.1. zu überbrücken. In Rohrleitungen eingebaute

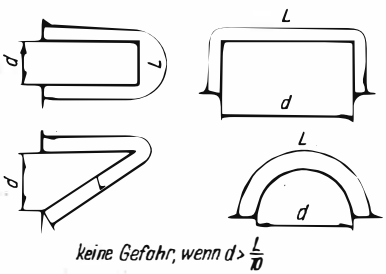


Bild 9.3 Beispiele für Umwegführungen von Erdungsleitungen

Isoliermuffen, die zur elektrischen Trennung dienen, dürfen nicht galvanisch überbrückt werden; Rohrleitungen, die durch derartige Isoliermuffen von Erde getrennt sind, dürfen nicht mit Erdungsleitungen verbunden werden.

In Verbindungsstellen sind Metallkombinationen zu verwenden, deren elektrochemische Potentialdifferenz 1,15 V nicht überschreitet.

4.1.2.3. Überspannungsschutz.

4.1.2.3.1. Bemessung der Überschlagstellen.

Grobschutz

Als Grobschutz gelten Schutzfunkenstrecken, Trennfunkenstrecken, Überschlagstellen, Isolatoren oder sonstige isolierende Zwischenschichten, wenn die Schlagweite in Luft höchstens 30 mm beträgt oder die Isolation einen entsprechenden Durchschlagswert besitzt.

Für 1 mm Luftstrecke zwischen zwei metallischen Kanten, Ecken oder Spitzen können bei einem Luftdruck von 101 kN/m² und einer relativen Luftfeuchte bis zu 70 % $\approx$ 1000 V Überschlagspannung gerechnet werden. Bei gerundeten Körperkanten oder -ecken oder kugeligen Formen erhöht sich die Überschlagspannung auf $\approx$ 3000 V.

Feinschutz

Als Feinschutz gelten Überschlagstellen mit einer Ansprechspannung von höchstens 1000 V Gleichspannung und einem Ableitvermögen von mindestens 0,5 Ws.

Der Zusammenbau von Grob- und Feinschutz ist zulässig.

Auf- und Einbau von Überschlagstellen

Isolierstoffe im Bereich von Überschlagfunken müssen zumindest schwer brennbar sein, z. B. PVC.

Überschlagstellen müssen von brennbaren Stoffen, z. B. Holz, einen Abstand in Luft von mindestens 10 cm und von leichtbrennbaren Stoffen, z. B. Rohr, Stroh, Schilf oder Heu, einen Abstand von mindestens 60 cm haben, oder durch Bauteile mit einem Feuerwiderstand von mindestens 0,5 h nach *TGL 10685 Bl. 2* getrennt sein.

Überspannungsableiter siehe *TGL 200-1726*.

Der Abschnitt 4.2. *Schutz gegen Spannungsübertritt aus Elektroinstallationen* behandelt Abstände zwischen fest verlegten Leitungen und Schutzmaßnahmen bei Antennenanlagen mit koaxialen HF-Kabeln oder mit Antennenverstärkern.

Der Mindestabstand zwischen leitfähigen Teilen einer Antennenanlage und leitfähigen Teilen einer elektrischen Anlage mit Spannungen über 65 V bis 1000 V (Effektivwerte) hat in umbauten Räumen 10 mm, im Freien 20 mm zu betragen.

Bei Verwendung von Antennenverstärkern ist deren Anschlußklemme für den Schutzleiter mit dem Erder der Antennenanlage zu verbinden. Die Übertragung elektrischer Energie über die Antennenzuleitung (z. B. zum Betreiben von Antennen-Mastverstärkern oder elektrischen Antennendrehvorrichtungen) ist zulässig, wenn

- die Betriebs-Nennspannung 65 V (Effektivwert) bei Wechselstrom oder 100 V bei Gleichstrom gegen Erde nicht übersteigt und die angeschlossenen Geräte *TGL 200-0602 Bl. 3* entsprechen;
- die Antennenzuleitung eine entsprechende elektrische Spannungsfestigkeit aufweist;
- Kleinspannung bis 42 V (Effektivwert) zur Energieversorgung benutzt wird. In diesem Falle ist die Verwendung von symmetrischer HF-Leitung nach *TGL 200-1579 Bl. 9* (z. B. UKW-Bandleitung) als Antennenzuleitung zulässig.

Wird für Antennenverstärker Kleinspannung nach *TGL 200-0602 Bl. 3* als Schutzmaßnahme verwendet, so ist eine aus hochfrequenztechnischen Gründen unter Umständen erforderliche Erdung der Kleinspannungsseite nur zulässig, wenn

- die Kleinspannung durch einen Schutztransformator nach *TGL 200-1766 Bl. 1* erzeugt wird;
- die spannungsführenden Teile des Antennenverstärkers gegen zufällige Berührung abgedeckt sind.

Der Abschnitt 4.3. *Kreuzungen* enthält die allgemeinen Bestimmungen, die bei Kreuzungen von Antennenanlagen zu beachten sind, sowie die Forderungen bei Überkreuzungen und bei Unterkreuzungen. Unter einer Überkreuzung versteht man eine Kreuzung, bei der sich die Empfangs-Antennenanlage über der gekreuzten elektrotechnischen Anlage oder über öffentlichen Verkehrswegen befindet. Sinngemäß ist bei einer Unterkreuzung die Empfangs-Antennenanlage unterhalb der gekreuzten elektrotechnischen Anlage angebracht.

4.3.1.1. Kreuzungen von Antennenanlagen und deren Teilen sind zulässig bei Einhaltung der Forderungen nach den Abschnitten 4.3.2. bis 4.3.4.

— über oder unter einer nicht allseitig gegen Berühren geschützten anderen elektrotechnischen Anlage;
— über öffentlichen Verkehrswegen, z. B. Straßen, Plätzen, Autobahnen, Wasserstraßen, Schienenbahnen, Seilbahnen.

4.3.1.2. Durch die Forderungen nach den Abschnitten 4.3.2. bis 4.3.4. soll bei Antennenanlagen, die andere elektrotechnische Anlagen im Freien oder öffentliche Verkehrswege kreuzen oder ihnen sich nähern, erreicht werden, daß
— keine Berührung auftreten kann, durch welche Spannungen der gekreuzten oder genäherten Anlage auf die Antennenanlage oder umgekehrt gebracht werden können;
— gekreuzte oder genäherte elektrotechnische Anlagen nicht durch Teile der Antennenanlage miteinander verbunden werden können;
— öffentliche Verkehrswege nicht behindert werden.

4.3.2. Überkreuzungen.

4.3.2.1.1. Ein Überkreuzen von elektrotechnischen Anlagen im Freien mit Spannungen über 1 kV (Effektivwert) ist unzulässig.

4.3.2.1.2. Beim Überkreuzen von elektrotechnischen Anlagen im Freien mit Spannungen unter 1 kV (Effektivwert) muß mindestens eine der nachstehenden Bedingungen erfüllt sein:
— An der Kreuzungsstelle ist die Antennenanlage mit erhöhter Sicherheit nach Abschnitt 4.3.4. auszuführen;
— es muß sichergestellt sein, daß bei Bruch in der Antennenanlage unter Spannung stehende Teile der überkreuzten Anlage von Teilen der Antennenanlage nicht berührt werden können oder an berührbaren Teilen keine Spannungen über 65 V (Effektivwert) länger als 0,1 Sekunde bestehen bleiben können. Hierbei ist ein seitlicher Windabtrieb zu berücksichtigen.

4.3.3. Unterkreuzungen.

4.3.3.1. Unterkreuzungen von elektrotechnischen Anlagen mit Spannungen über 65 V (Effektivwert) gegen Erde.

Beim Unterkreuzen von nicht allseitig gegen Berühren geschützten Leitungen im Freien von elektrotechnischen Anlagen mit Spannungen über 65 V (Effektivwert) gegen Erde muß eine der nachfolgenden Bedingungen erfüllt werden:
— Die unterkreuzte elektrotechnische Anlage muß an der Kreuzungsstelle nach *TGL 200-0614 Bl. 3* errichtet sein;
— es muß sichergestellt sein, daß auch bei Bruch in der unter-

kreuzten elektrotechnischen Anlage keine zu hohe Berührungsspannung auf Teile der Antennenanlage gebracht wird. Hierbei ist ein seitlicher Windabtrieb zu berücksichtigen.

4.3.3.2. Unterkreuzungen von elektrotechnischen Anlagen mit Spannungen unter 65 V (Effektivwert) gegen Erde.

Es werden keine besonderen Sicherheitsforderungen erhoben.

4.3.4. Antennenanlagen mit erhöhter Sicherheit.

4.3.4.1. Alle für die mechanische Festigkeit der Antennenanlage maßgebenden Bauteile dürfen im ungünstigsten Belastungsfalle nur mit der Hälfte der sonst zulässigen Beanspruchungen nach Abschnitt 3. belastet werden.

4.3.4.2. Die Verwendung von Litzenleitern ist unzulässig.

5. Betriebssicherheit.

Antennenanlagen sind in einem Zustand zu erhalten, der den Forderungen dieses Standards entspricht; gefahrbildende Mängel sind zu beheben.

Hinweise auf weitere Standards

TGL 200-0616	Blitzschutz für Bauten und nichtelektrotechnische Anlagen
TGL 200-1579	Hochfrequenzkabel und -leitungen
TGL 200-7035	Antennenanlagen; Begriffe
TGL 200-7047	Bl. 1 VHF- und UHF-Empfangsantennen; Technische Forderungen
TGL 200-7051/03	Elektronische Heimgeräte — Empfangsantennenanlagen für Hör- und Fernsehrundfunk — Wartung
TGL 200-7052	Bl. 1 Sende- und Empfangs-Antennenanlagen für Funkdienste, Sicherheitsforderungen
TGL 200-7052	Bl. 2 Sende- und Empfangsanlagen für Funkdienste, Wartung
TGL 9012	Nahtlose Stahlrohre, warm gewalzt, Maße, Maßabweichungen
TGL 10685 Bl. 2	Bautechnischer Brandschutz, Feuerwiderstandsklassen, Feuerwiderstand von Baukonstruktionen
TGL 12351/01	Elektronische Heimgeräte — Gemeinschafts-Antennenanlagen —
TGL 25609	Elektronische Heimgeräte — Antennenverstärker —

9.1. Sonstige Anordnungen und Empfehlungen zur Betriebssicherheit

Schwere und oft tödliche Unfälle kommen immer wieder bei der Errichtung von Antennenanlagen vor. Sie sind in allen Fällen auf die Nichtbeachtung der einschlägigen Arbeitsschutzbestimmungen zurückzuführen. So ist z. B. für die Arbeit auf Dächern oder Masten die Verwendung vorschriftsmäßiger Sicherheitsleinen und Sicherheitsgürtel vorgeschrieben. Für einfache Arbeiten, die von einer Leiter aus durchgeführt werden dürfen, ist die maximale Länge der Leiter mit 8 m angegeben. Alle Leitern sind vor ihrer Verwendung zu überprüfen. Schadhafte Sprossen, auch solche, die sich drehen, müssen unverzüglich ausgewechselt werden. Das Aufnageln von Sprossen ist verboten. Leitern sind gegen Ausgleiten, Abrutschen, Umkippen oder Umstürzen sowie starkes Schwanken zu sichern. Das Anlehnen von Leitern an nichtsicheren Stützpunkten (z. B. Glasscheiben, Stangen, Spanndrähten usw.) ist verboten.

Bei Arbeiten auf Dächern oder Masten muß der Fallbereich von Werkzeugen oder sonstigen möglicherweise herabfallenden Gegenständen ausreichend abgesichert werden. Die Sicherung des Verkehrs ist unbedingt zu beachten. Werkzeuge sind in einer Tasche sicher unterzubringen und dürfen nicht auf Antennen- oder Mastteilen abgelegt oder während der Arbeiten auf den Knien gehalten werden. Nach Beendigung der Arbeiten sind der Arbeitsplatz und dessen Umgebung wieder ordnungsgemäß aufzuräumen. Eine gefährliche Unsitte ist z. B. das Liegenlassen von Drahtabfällen.

Werden Maste aufgestellt, so müssen sich alle nichtbeteiligten Personen aus dem Fallbereich entfernen. Gibt es keine besondere Fundierung, so sind Maste im Sechstel ihrer Gesamtlänge, jedoch nicht weniger als 1,60 m tief, einzugraben und gut zu verrammen. Beim Aufrichten sind Dreiböcke oder Gabelstützen zu verwenden. Das Fußende des Mastes ist so festzulegen, daß es nicht emporschnellen kann. Beim Aufrichten darf nicht auf den Mast getreten werden. Ein Mast darf erst dann bestiegen werden, wenn das Mastloch vollständig ausgefüllt ist. Zum Besteigen von Masten sind vorschriftsmäßige Sicherheitsgürtel anzulegen.

Steht ein Gewitter bevor, so sind alle Arbeiten an Antennenanlagen einzustellen.

Die ständig steigende Anzahl der Fernsehantennen hat auch ein

erhebliches Anwachsen der durch Blitzeinschläge in Antennen verursachten Gebäudeschäden mit sich gebracht. Die Untersuchung solcher Beschädigungen ergab in den meisten Fällen, daß die ordnungsgemäße Erdung überhaupt fehlte oder einen viel zu hohen Erdübergangswiderstand hatte. Viele Antennen werden heute ohne die erforderliche Sachkenntnis montiert oder für den ersten Fernsehempfang provisorisch aufgestellt. Solche Provisorien bleiben bei gutem Fernsehbild oft ein Dauerzustand. Sie gefährden dann die Sicherheit der Straßenpassanten und können umfangreiche Blitzschäden verursachen. Bei fehlerhaften Antennenanlagen tritt der Blitz nach Einschlag in die den Dachfirst überragende Antenne zum Innern des Gebäudes über und sucht sich dort den Weg des geringsten Widerstands zur Erde. Diesen findet er meist in den elektrischen Installationen und in anderen metallischen Leitern. Dabei werden durch Wärme- und Sprengwirkungen sowie durch elektrodynamische Kräfte umfangreiche Gebäude- und Einrichtungsschäden verursacht, die nicht selten zu Bränden führen sowie Leben und Gesundheit der Hausbewohner gefährden.

Die Antennen werden häufig in Eigenleistung oder durch hilfsbereite Freunde und Nachbarn unter der Leitung und Verantwortung des Auftraggebers montiert. Von diesem muß deshalb gefordert werden, daß er alle für die Errichtung von Antennenanlagen erlassenen Bestimmungen streng beachtet und zu seiner eigenen Sicherung die Anlage von einem Fachmann prüfen und begutachten läßt. In Zweifelsfällen erteilt die zuständige Arbeitsschutzinspektion eindeutige und bindende Auskünfte.

10. Anhang

Tabelle 10.1.

Umrechnungstabelle von Frequenz in Wellenlänge und umgekehrt

In der nachstehenden Tabelle kann jede Spalte MHz bzw. m bedeuten, die Umrechnung ist also in jeder Richtung möglich.

30	10,000	60	5,000	112	2,679	172	1,744
31	9,677	61	4,918	114	2,632	174	1,724
32	9,375	62	4,839	116	2,586	176	1,705
33	9,091	63	4,762	118	2,542	178	1,685
34	8,824	64	4,687	120	2,500	180	1,667
35	8,571	65	4,615	122	2,459	182	1,648
36	8,333	66	4,546	124	2,419	184	1,630
37	8,108	67	4,478	126	2,381	186	1,613
38	7,895	68	4,412	128	2,344	188	1,598
39	7,692	70	4,286	130	2,308	190	1,579
40	7,500	72	4,167	132	2,273	192	1,563
41	7,317	74	4,054	134	2,239	194	1,546
42	7,143	76	3,947	136	2,206	196	1,531
43	6,977	78	3,846	138	2,174	198	1,515
44	6,818	80	3,750	140	2,143	200	1,500
45	6,667	82	3,659	142	2,113	205	1,463
46	6,522	84	3,571	144	2,083	210	1,428
47	6,383	86	3,488	146	2,055	215	1,397
48	6,250	88	3,409	148	2,027	220	1,363
49	6,122	90	3,333	150	2,000	225	1,333
50	6,000	92	3,261	152	1,974	230	1,304
51	5,882	94	3,192	154	1,948	235	1,277
52	5,769	96	3,125	156	1,923	240	1,250
53	5,660	98	3,061	158	1,899	245	1,224
54	5,555	100	3,000	160	1,875	250	1,200
55	5,454	102	2,941	162	1,852	260	1,154
56	5,357	104	2,885	164	1,829	270	1,111
57	5,263	106	2,830	166	1,807	280	1,071
58	5,172	108	2,778	168	1,786	290	1,034
59	5,085	110	2,727	170	1,765	300	1,000

Tabelle 10.2.
Relatives Spannungs-, Strom- und Leistungsverhältnis in Dezibel

Faktor bei — dB (Dämpfung)			Faktor bei + dB (Verstärkung)	
Leistung	Spannung bzw. Strom		Spannung bzw. Strom	Leistung
$\frac{P_1}{P_2}$	$\frac{U_1}{U_2}$ bzw. $\frac{I_1}{I_2}$	dB	$\frac{U_1}{U_2}$ bzw. $\frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$
1,0	1,0	— 0,0 +	1,0	1,0
0,891	0,944	— 0,5 +	1,059	1,121
0,794	0,841	— 1,0 +	1,122	1,259
0,707	0,841	— 1,5 +	1,189	1,394
0,621	0,795	— 2,0 +	1,259	1,585
0,563	0,750	— 2,5 +	1,333	1,777
0,501	0,708	— 3,0 +	1,413	1,995
0,446	0,668	— 3,5 +	1,497	2,241
0,397	0,631	— 4,0 +	1,585	2,512
0,354	0,595	— 4,5 +	1,680	2,823
0,316	0,562	— 5,0 +	1,778	3,163
0,251	0,501	— 6,0 +	1,995	3,981
0,200	0,447	— 7,0 +	2,24	5,01
0,158	0,398	— 8,0 +	2,51	6,31
0,126	0,355	— 9,0 +	2,82	7,94
0,100	0,316	— 10 +	3,16	10,00
0,079	0,282	— 11 +	3,55	12,59
0,063	0,251	— 12 +	3,98	15,85
0,050	0,224	— 13 +	4,47	19,96
0,040	0,200	— 14 +	5,01	25,12
0,032	0,178	— 15 +	5,62	31,63
0,025	0,158	— 16 +	6,31	39,8
0,020	0,141	— 17 +	7,08	50,1
0,016	0,126	— 18 +	7,95	62,1
0,013	0,112	— 19 +	8,91	79,4
0,010	0,100	— 20 +	10,0	100,0
0,0062	0,079	— 22 +	12,59	158,5
0,0038	0,062	— 24 +	15,85	251,2
0,0025	0,050	— 26 +	19,95	398,1
0,0016	0,040	— 28 +	25,12	631
0,0010	0,032	— 30 +	31,60	1 000
0,00062	0,025	— 32 +	39,8	1 585
0,00038	0,020	— 34 +	56	2 512
0,00025	0,016	— 36 +	63	3 980
0,00016	0,013	— 38 +	80	6 210
0,00010	0,010	— 40 +	100	10 000
0,00003	0,006	— 45 +	178	31 630
0,00001	0,003	— 50 +	316	100 000